MATERIALES

DE

CONSTRUCCIÓN,

POR

D. MANUEL PARDO,

INGENIERO JEFE DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Y PROFESOR DE LA ESCUELA.

TEXTO.

MADRID.

IMPRENTA Y FUNDICIÓN DE MANUEL TELLO,

IMPRESOR DE CÁMARA DE S. M.

Isabel la Católica, 23.

1885.

PRÓLOGO.

Al encargarme, hace ya más de diez años, de la clase de *Materiales de construcción*, en la Escuela de Ingenieros de Caminos, noté la imposibilidad de señalar á los alumnos un libro de texto, por estar diseminados en multitud de obras, los heterogéneos asuntos que comprende la asignatura. Desde el primer curso, empecé á reunir datos, á extractar memorias, á consultar tratados relativos á las diversas industrias de que es preciso dar siquiera una idea á los alumnos, con objeto de redactar, por lo menos, unos apuntes, que facilitaran algún tanto la enseñanza. Ha llegado ya, y á la verdad, con temor mío, el momento de dar forma y publicar el fruto de mi trabajo; y no se crea que al expresarme así quiero recurrir á manoseadas frases de falsa modestia, que suelen ser la capa de no escasa presunción. Aparte de las faltas que tenga el libro y de que yo deba responder, si no como autor, porque claro es que nada he inventado y que mi misión ha sido la más modesta de recopilador, que podré haber desempeñado con mayor ó menor acierto, presenta la obra deficiencias evidentes, lagunas de consideración, que no es factible evitar. Bien las conozco y no las enumeraré, porque no trato de escribir un juicio crítico de mi propia obra, pero sí debo hacer constar que si acudo en

ella con frecuencia á buscar ejemplos fuera de España, ya de las condiciones de determinados materiales, ya del resultado que han producido en la práctica, ya de los experimentos de que han sido objeto, no se me oculta que hubiera ganado el libro dándole más color local. Sin embargo, en la conciencia de todos está, y creo que no necesito esforzarme en demostrarlo, que es absolutamente imposible: la fiebre con que se emprende entre nosotros la construcción de obras públicas, tras períodos de marasmo en la industria y de hondas convulsiones en otras esferas, hace que los Ingenieros, por regla general, apenas puedan ocuparse más que en las atenciones perentorias del servicio, sin descender á prolijidades, que requieren tranquilidad y calma; algunos, sin embargo, que se encuentran en circunstancias á propósito, hacen investigaciones y experimentos notables, pero las más de las veces sin que lleguen á conocerlos, no ya el público, sino sus mismos compañeros. Ante obstáculos tan insuperables, no cabe lucha, y la diligencia más exquisita sólo logra adquirir datos incompletos y sin ilación.

Para escribir este libro, he tomado trozos enteros de ciertas obras, he extractado capítulos de otras, y he sacado notas y apuntes de algunas; de todas incluyo al final una relación detallada, prescindiendo de las publicaciones periódicas, nacionales y extranjeras, que me han prestado también poderoso auxilio.

Si con mi trabajo gana algo, por poco que sea, la enseñanza, y si los constructores hallan datos ó noticias que les interesen, quedarán satisfechas mis aspiraciones.

M. PARDO.

MATERIALES DE CONSTRUCCION.

INTRODUCCIÓN.

El curso de MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN tiene por objeto, como lo indica su nombre, el estudio de las principales substancias empleadas en la ejecución de las obras.

Este estudio, absolutamente indispensable para el Ingeniero, se divide en dos partes: 1.ª *Conocimiento y preparación de los materiales;* y 2.ª *Análisis química de los mismos.*

La primera parte abraza, no sólo el examen detenido de las propiedades de los materiales, sino la reseña circunstanciada de las diversas operaciones que hay que practicar, desde que se descubren las primeras materias que los constituyen, hasta el momento de ponerlos en obra.

La segunda comprende la determinación cualitativa y cuantitativa de los elementos que componen los materiales. Á pesar de la gran utilidad que pudiera reportar el conocimiento detallado de los procedimientos de análisis, lo esencialmente práctico del curso hará que la segunda parte se limite al examen de los medios más rápidos de ensayo, que arrojen, á la vez, suficiente luz sobre la composición de los materiales que emplea el Ingeniero de Caminos.

PRIMERA PARTE.

CONOCIMIENTO Y PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES.

El estudio del *Conocimiento y preparación de los materiales*, se subdividirá en tres importantes secciones, que son:

1.ª *Estudio de los materiales de origen pétreo.*—Esta sección, difícil de definir, por el gran número de cuerpos cuyo examen abarca, se puede decir, desde el punto de vista del constructor, que tiene por objeto principal el estudio de las piedras, tanto naturales como artificiales, así como el de las mezclas que sirven para unirlas, como morteros, betunes, etc.

2.ª *Estudio de los materiales de origen vegetal,* como maderas, cuerdas, resinas, gomas, etc.

3.ª *Estudio de los materiales metálicos;* entre éstos se considerarán en primer término el hierro y el acero, y en segundo el cobre, el zinc, el plomo, el estaño y las aleaciones más interesantes.

Como complemento al estudio de las tres secciones, se darán á conocer: 1.°, las pinturas y barnices, así como los procedimientos para dorar y broncear, que se aplican á obras construídas con materiales pétreos, vegetales ó metálicos; y 2.°, los papeles y cartones que se emplean en construcción.

PRIMERA SECCIÓN.

MATERIALES DE ORIGEN PÉTREO.

PIEDRAS.

Muchos autores empiezan por dividir las piedras en *naturales* y *artificiales;* aunque parece oportuna esta clasificación, es tan difícil precisar dónde concluyen las unas y comienzan las otras, que bastará indicar que se dice que una piedra es *natural* cuando para emplearla no hay más que extraerla del sitio en que se encuentra y darle la forma conveniente.

Se empezará el estudio de las piedras por el de las cualidades que deben tener para ser útiles en las construcciones.

REQUISITOS Á QUE HAN DE SATISFACER LAS PIEDRAS.

Las piedras naturales son materiales importantísimos en la construcción, y siempre que se encuentren cerca del sitio donde haya de ejecutarse una obra de alguna entidad, se prefieren á otros que pudieran servir para el mismo objeto. En general, las obras que deban tener gran duración y estar sometidas á esfuerzos considerables, ya permanentes, ya accidentales, conviene construirlas con esta clase de materiales. Sin embargo, todas las piedras no tienen iguales ventajas ni convienen para la misma especie de obras, y constantemente necesitan mayor ó menor preparación, según el objeto á que se destinan.

De modo que es preciso estudiar, siquiera sea ligeramente, las principales condiciones á que han de satisfacer para su empleo en las obras en que hayan de aplicarse, así como el medio de extraerlas y darles la forma apropiada en cada caso.

Además de las condiciones particulares que deban tener las piedras, según la clase de obras á que se destinen, necesitan casi siempre satisfacer á otras que es oportuno enumerar.

Fuerza ó resistencia.—Es evidente que los materiales han de tener la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos permanentes ó accidentales que sobre ellos hayan de actuar. Para conocer si una piedra cualquiera posee la suficiente resistencia, habrá que compararla con otras de la misma especie ya conocidas y empleadas en obras antiguas, y si por la explotación de canteras nuevas ú otra causa es imposible recurrir á datos experimentales, se tendrá que ensayar su resistencia por los medios que enseña la Mecánica aplicada. La resistencia de las piedras es una cualidad completamente relativa: no todas la poseen en el mismo grado, y cada una en particular resiste de distinto modo, según las direcciones en que obren los esfuerzos. Así, por ejemplo, hay piedras, como algunas areniscas muy blandas, cuyo límite de resistencia para esfuerzos que tiendan á producir aplastamiento, es sólo de 4 kilogramos por centímetro cuadrado, mientras llega á 2.500 kilogramos en algunos pórfidos; en los granitos muy duros pasa rara vez de 800 kilogramos; en el mármol italiano no alcanza á 700, y en muchas calizas duras y compactas no llega á 200 (1). Es también un hecho que las piedras que provienen de rocas estratificadas ofrecen la máxima resistencia cuando se ponen en obra, de modo que sus lechos de cantera sean normales á la dirección de los esfuerzos.

Dureza.—En el lenguaje vulgar se suelen confundir la *resistencia* y la *dureza;* esta última viene á representar la mayor ó menor inalterabilidad por el roce, y se mide en construcción, no ya, como lo hace el mineralogista, por la propiedad de rayar ó ser rayadas que tengan las piedras, sino comparando el tiempo que se invierte en labrar una superficie igual en las diferentes muestras. Estos experi-

(1) Véase el cuadro núm. 1, inserto al final del estudio de los materiales pétreos.

mentos arrojan gran luz sobre la resistencia al rozamiento de los materiales, circunstancia muy importante en algunas obras (1).

Disposición para la labra.—Sin embargo, aunque es conveniente que las piedras sean muy duras, no deben serlo tanto que impidan labrar bien sus caras, cuando sea necesaria esta operación: de modo que deberá procurarse, en lo posible, que satisfagan á la vez á la condición de dureza y á la de facilidad de la labra. No es imposible reunir esos requisitos, como á primera vista parece: hay, en efecto, piedras, como las de Alicante, Angulema, Burdeos, etc., que reblandecidas por el agua de cantera se dejan labrar por la sierra, y en cuanto pierden por evaporación aquella agua se endurecen extraordinariamente.

Adherencia con los morteros.—Deberá procurarse también que las piedras tengan una superficie bastante áspera para que se adhieran á los morteros, cuando hayan de unirse con esas mezclas, pues de lo contrario no quedarían bien enlazadas y deslizarían fácilmente unas sobre otras, dejando de formar un macizo compacto, como requiere la estabilidad de las construcciones.

Hay que observar que las piedras se traban entre sí por el intermedio de los morteros por economía, á fin de evitar los grandes gastos que produciría el pulimento de las caras de las piedras que hayan de estar en contacto; pulimento que, si fuera perfecto, determinaría en muchos casos una adherencia enérgica.

Absorción y permeabilidad.—Estas dos cualidades de las piedras no deben confundirse, pues pueden aquellas poseerlas en grados muy distintos; unas, como las piedras de filtros, dejan pasar el agua á través de sus poros, no reteniendo casi ninguna; por el contrario, otras, como las que se destinan á la construcción de presas y demás obras hidráulicas, conviene que no tengan permeabilidad, aunque puedan absorber ciertas cantidades de agua. Á su cualidad absorbente se debe la gran utilidad del yeso, que, al amasarlo, recobra el agua de cristalización que había perdido en la cochura, y cristalizando entre los materiales, cuyos intersticios llena, *fragua* ó se endurece.

(1) Véase el cuadro núm. 3, inserto al final del estudio de los materiales de origen pétreo.

Se puede medir la absorción de las piedras con gran facilidad, resultando, según Vaudoyer, que la de los mármoles es, por término medio, 0,0052 de su volumen; la del granito 0,006; y la del yeso, según Coriolis, 0,59. En los firmes de carreteras no conviene emplear material muy absorbente: se ha reconocido que el límite de absorción no debe pasar de 12 kilogramos de agua, por metro cúbico de material, en veinticuatro horas.

Inalterabilidad ante los agentes atmosféricos.—Una de las principales condiciones á que han de satisfacer las piedras, es la de poder resistir á los agentes atmosféricos. Hay muchas, efectivamente, que se desagregan bajo la acción repetida de los vientos, lluvias, hielos, emanaciones salinas del mar y de los pantanos, etc. En tal caso convendrá evitar el empleo de esas piedras, por lo menos en los puntos en que hayan de estar más expuestas á la influencia de dichos agentes, y de no poderlo hacer así, será preciso tomar las precauciones necesarias para combatir su rápido deterioro.

Piedras heladizas.—El hielo es el más destructor de los agentes atmosféricos y el más difícil de combatir. Mientras ciertas piedras están sometidas á la acción de fríos intensos sin manifestar alteración aparente, existen otras á las que las menores heladas de nuestros climas atacan de un modo notable. Ya sufren una desagregación, que se observa sobre todo en los ángulos y en las aristas; ya dejan que se desprendan fragmentos ú hojuelas de mayor ó menor tamaño; ya puede, en fin, suceder que la solidez de la piedra se haya alterado profundamente, sin que aparezca al exterior: de esto ofrece un ejemplo notable la piedra de Namur (Bélgica), que algunos años después de haber sufrido la acción de los hielos, y permaneciendo al parecer intacta en las construcciones en que se ha empleado, al menor golpe, al más insignificante movimiento, se desmorona por completo. Este fenómeno reconoce por causa la facultad que tienen las piedras de absorber y retener con fuerza el agua de cantera ó la que proviene del vapor atmosférico; y cuando, á consecuencia de fríos rigurosos, se congela el líquido en los poros de las piedras, se dilata con una gran fuerza de expansión, que si sobrepuja á la de cohesión de la materia, produce los fenómenos ya indicados. Muchas veces basta una exposición al aire más ó menos prolongada (generalmente un verano), para que se evapore el agua de cantera que contiene la piedra, y

hacer desaparecer ó disminuir considerablemente la intensidad del efecto.

El ser las piedras de grano fino ó apretado, no garantiza que sean menos *heladizas* que las porosas y permeables, pues, según Vicat, en éstas obran los esfuerzos aisladamente en cada poro, y se debilitan por determinarse una trasudación, que empieza cuando el agua tiene todavía fluidez. En las piedras compactas, en que no puede verificarse libremente esta trasudación, se exfolian las superficies, separándose pequeñas hojuelas ó materia pulverulenta.

Cuando no se conoce por la inspección de antiguas construcciones el grado de resistencia á la helada de las piedras de una cantera, se recurre al siguiente método de ensayo, debido á Brard y comprobado por una larga experiencia. Se ha observado que varias sales, y notablemente el sulfato sódico (sal de Glauber), tienen la propiedad de producir eflorescencias en la superficie de las piedras que las contienen, acompañadas aquellas, casi siempre, de una desagregación más ó menos completa. Observó también Brard, que en gran número de circunstancias se formaban en la superficie de las piedras heladizas eflorescencias semejantes de agua cristalizada, y que en esos casos era cuando se producían con más intensidad las descomposiciones.

Fundándose en la analogía de estos dos fenómenos, se ha llegado á a consecuencia, después de repetidos experimentos, de que las piedras heladizas son las mismas, que, en determinadas condiciones, se desagregan por el sulfato sódico. Sentado este principio, para reconocer si una piedra es heladiza, se escogen muestras en los puntos de la cantera en que se noten diferencias de color, cohesión, etc., haciendo en cada una las indicaciones suficientes para poder reconocer siempre su procedencia; se labran luego los ejemplares en cubos de aristas vivas, de unos 0^{m},05 de lado, teniendo cuidado de que no reciban golpes bruscos al labrarlos, á fin de que no experimenten cambios en su textura, que pudieran influir en la resistencia de los cubos á la acción de la sal. Se satura en frío (la proporción es para una botella ordinaria de agua, medio kilogramo de sal próximamente) la cantidad de agua bastante para sumergir las muestras que se quieran ensayar. Se hace hervir á borbotones esa disolución, y cuando ha llegado al punto de ebullición, se introducen en ella las muestras, dejándola al fuego media hora, contada desde ese momento. Se ha observado, efectivamente, que so pena de producir efectos superiores á los de la helada, no se debe pasar de ese límite. Se sacan los diferentes ejemplares, colgando cada uno de un hilo, de modo que queden perfectamente aislados. El agua en que han hervido se trasvasa á un número de vasijas igual al de ejemplares, separando por decantación los detritos que se hayan formado durante la ebullición. Se coloca en seguida una de esas vasijas debajo de cada cubo, teniendo cuidado de no moverlas ya en todo el experimento. Si el tiempo no es demasiado frío ni húmedo, al cabo de algunas horas las superficies de los cubos se cubren de eflorescencias; se sumergen entonces las piedras en el vaso que tengan debajo, para disolver la materia salina; y cada vez que ésta vuelve á formarse, se repite la operación. La tranquilidad del aire ambiente influye mucho en la formación de las eflorescencias; por eso se recomienda efectuar el experimento en una habitación cerrada ó en un sótano.

Si las eflorescencias se disuelven por completo, la piedra no es heladiza; en caso contrario, la sal arrastra consigo fragmentos de piedra y, por lo general, se deforman los ángulos y aristas del cubo. El experimento concluye al final del quinto día, contado desde el momento en que han aparecido las eflorescencias por primera vez.

Hay que precaverse de saturar el agua mientras esté caliente, pues se ha reconocido que piedras que resisten á la acción de la helada y de la disolución saturada en frío, se desagregan completamente bajo la acción del líquido saturado á una temperatura elevada.

Medios de contener la acción del hielo y de los demás agentes atmosféricos.—Para contrarrestar la acción de los agentes atmosféricos, se han preconizado varios métodos, que generalmente han dado resultados poco decisivos. De todos ellos sólo se darán á conocer los dos más usados.

Método de silicatación de Füchs.—Este método, introducido en Francia por Kulhmann, consiste en hacer penetrar en las piedras, hasta donde sea posible, una substancia en disolución, que, cristalizando en los poros del material, forme productos indestructibles por la acción de los agentes citados, y una las partes que podrían desprenderse. La substancia que se emplea para este objeto es el *vidrio soluble* ó silicato potásico, que se obtiene calcinando una mezcla de

10 partes en peso de carbonato de potasio, con 15 de sílice y una de carbón. La reacción que se verifica, es la siguiente:

$$2\left[\left.\begin{matrix}CO''\\K^2\end{matrix}\right\} O^2\right] + Si^{IV}O^2 + 2C = \left.\begin{matrix}Si^{IV}\\K^4\end{matrix}\right\} O^4 + 4CO.$$

El silicato potásico, así obtenido, se presenta en masa vítrea y es muy soluble en el agua. Aunque es fácil esta preparación, se puede adquirir directamente en el comercio el silicato alcalino, que deberá disolverse en cuatro ó cinco partes de agua. Este producto se emplea de dos modos, según que las piedras que se trata de silicatar sean ó no calizas. En el primer caso, la operación se reduce á dar con una brocha unas cuantas manos á las caras de paramento. Obrando el silicato de potasio sobre el carbonato cálcico, que constituye la roca, tiende á formarse, en virtud de las leyes de Berthollet, un silicato de calcio, cuerpo más insoluble que el carbonato del mismo metal, efectuándose la siguiente reacción:

$$\left.\begin{matrix}Si^{IV}\\K^4\end{matrix}\right\} O^4 + 2\left[\left.\begin{matrix}CO''\\Ca''\end{matrix}\right\} O^2\right] = \left.\begin{matrix}Si^{IV}\\Ca''^2\end{matrix}\right\} O^2 + 2\left[\left.\begin{matrix}CO''\\K^2\end{matrix}\right\} O^2\right].$$

Se precipita, pues, el silicato de calcio, rellenando los poros de la piedra, mientras sale al exterior la sal de potasio. Se lava entonces el paramento para disolver dicha sal y quitar el silicato alcalino que haya quedado en la superficie. No conviene silicatar los lechos y sobrelechos, pues de hacerlo, no se conseguiría que se adhirieran bien á los morteros.

Si las piedras no son calizas, es menester emplear, al mismo tiempo que el silicato de potasio, una sal soluble de calcio, que ordinariamente es el cloruro, que, extendido juntamente con la sal alcalina, sobre las caras que se quieren silicatar, produce la siguiente reacción:

$$\left.\begin{matrix}Si^{IV}\\K^4\end{matrix}\right\} O^4 + 2Ca''Cl^2 = \left.\begin{matrix}Si^{IV}\\Ca''^2\end{matrix}\right\} O^4 + 4KCl.$$

El silicato de calcio se precipita en los poros de la piedra, como en el caso anterior, y el cloruro potásico, que es soluble, sale al ex-

terior, y desaparece al efectuarse el lavado. Por este procedimiento, se ha conseguido hacer penetrar la composición hasta $0^m,05$ y $0^m,07$ de la superficie, espesor sobrado para proteger eficazmente las piedras contra los agentes antes citados.

Método de Daines.—Este método consiste en dar dos manos á las piedras, con una brocha; la primera de sebo ó cera, y la segunda de resina ó azufre. Se hacen penetrar las substancias protectoras en el interior de la piedra, bruñendo después la superficie con un cepillo. Cuando se quieren cubrir con aquellas materias los paramentos de alguna construcción, se principia por limpiarlos con una brocha de alambre, para quitar el polvo, las plantas parásitas y las eflorescencias; muchas veces es preciso picarlos ó labrarlos de nuevo. Este procedimiento tiene el inconveniente, como el anterior, de que si queda alguna parte de la superficie sin barnizar, penetrará por ella la humedad, y extendiéndose por el interior, hará saltar la piedra cuando sobrevenga una helada. En general, parece que, aunque no como remedio radical, se puede prolongar por mucho tiempo la duración de las piedras, que se modifican por los agentes atmosféricos, empleando una conservación esmerada, pintándolas al óleo en obras de alguna importancia, y simplemente encalándolas en las de menor entidad, ó también cubriéndolas con un enlucido de cal ó cemento, según los casos, y polvo de la misma piedra. Siempre será preferible, conforme se ha indicado, examinarlas bien y no usarlas si presentasen alguno de los inconvenientes señalados, cuando puedan reemplazarse por otras ó por otro material, que, aunque algo más costoso, sea duradero y no exija una conservación difícil.

Otros defectos de las piedras.—Otros defectos pueden tener las piedras, que, si bien no de la importancia de los anteriores, conviene conocer, porque habrá casos en que deberán desecharse los materiales que los presenten.

Los defectos más comunes suelen ser: 1.°, *grietas* ó *pelos*, producidos por la filtración de las aguas, y que de ordinario están rellenos de una substancia blanca y pulverulenta, que no se adhiere al resto y puede, por tanto, perjudicar á la solidez de las construcciones; 2.°, *coqueras*, que son pequeñas cavidades ocasionadas por la destrucción accidental de algún resto fósil que las ocupaba, y que no suelen perjudicar á la solidez, pero sí al buen aspecto de la obra;

3.°, *restos orgánicos*, no endurecidos ó sin adherencia; y 4.°, *nódulos* ó *riñones* de piedra dura y más ó menos adherente, que dificultan la labra. En todos los casos, antes de emplear las piedras, deberán estudiarse cuidadosamente sus propiedades y recoger cuantos datos sea posible para asegurarse de que producirán buenos resultados.

Clasificación de las piedras.—Parecería natural pasar ahora á exponer la clasificación de los minerales pétreos; pero estudiándose con detalle en el curso de Mineralogía y Geología, se prescindirá de ella, entrando desde luego en el importante estudio de la explotación de canteras.

EXPLOTACIÓN DE CANTERAS.

Generalidades.—Se da el nombre de *cantera*, á la formación geológica de donde se extraen las piedras para una construcción cualquiera. Cuando las canteras presentan los bancos que se van á extraer, en la superficie del terreno, ó cuando pueden descubrirse fácilmente, se dice que la explotación se hace *al descubierto* ó *á cielo abierto;* por el contrario, las canteras en que los bancos se hallan á cierta profundidad, requieren una explotación *subterránea*.

Cuando se proyecte emplear la piedra procedente de una cantera, deberán ante todo examinarse sus propiedades físicas y químicas, viendo si reune las condiciones necesarias; determinando su peso específico y, si es posible, su resistencia; labrando una cinta; observando el sonido y la fractura, y deduciendo, en muchos casos, su composición.

Antes de empezar la explotación de una cantera, conviene darse cuenta de la disposición que afectan las rocas que se van á extraer; lo que no presenta dificultad cuando los bancos se hallan al descubierto; pero si se encuentran á alguna profundidad, será preciso examinar las capas naturales del terreno ó las excavaciones ya existentes, y en caso de no poder usar estos medios, se tendrá que recurrir á la apertura de pozos.

EXPLOTACIÓN AL DESCUBIERTO.

Desbrozo.—Elegido el sitio en que se ha de atacar la roca, se empieza por quitar, en un espacio correspondiente á la importancia de la explotación, las primeras capas de tierra y los detritos que generalmente cubren los bancos. Esta operación, que recibe el nombre de *desbrozo de la cantera,* deberá tenerse en cuenta al redactar el presupuesto de la explotación.

Sistemas de explotación.—La explotación se hace por métodos diferentes, según la naturaleza y disposición de los bancos, y según la forma y tamaño de los bloques que se trate de obtener. La naturaleza de la roca indicará, de ordinario, la clase de herramientas que convenga emplear; su disposición, el orden de los trabajos y los puntos que deban descubrirse antes que otros; la forma y tamaño de los bloques completarán los elementos que hay que considerar. En efecto, si se quiere extraer sillares de forma regular, no será oportuno, por lo general, usar materias explosibles; pero si es indiferente la forma de las piedras, como sucede, por ejemplo, cuando se han de emplear en escolleras ó mamposterías, no presentará ningún inconveniente su aplicación.

En definitiva, todos los sistemas de explotación se reducen á extraer los bloques por medio de palancas, operación que se verifica desde luego cuando los bancos están cuarteados naturalmente. En caso contrario, hay que principiar por colocarlos en esa disposición, lo que se consigue *rozando* la superficie con picos ó cuñas, ó empleando *substancias explosivas*, que determinen líneas de rotura en la masa compacta que convenga explotar.

Palancas.—Las *palancas,* que en algunas provincias reciben el nombre de *perpales,* se reducen á barras de hierro (fig. 1.ª) de 20 á 50 kilogramos de peso, que, introduciéndose en las grietas de la roca ya cuarteada, y manejadas por cuatro ó cinco hombres, sirven para separar los bloques que se han de extraer.

Rozas.—Cuando no existen en los bancos intersticios que permitan el empleo inmediato de las palancas, es preciso abrirlos artificial-

mente por medio del pico de cantera, operación que recibe el nombre de *roza*.

Otras veces, y para producir el mismo efecto, se practican cavidades á corta distancia una de otra, siguiendo la dirección en que se desee cuartear la piedra, y se introducen en ellas cuñas de acero, solas ó cubiertas con una lámina de palastro (fig. 2.ª), y golpeando sobre ellas con mazos de 5 á 10 kilogramos de peso, se producen rozas en la masa. Se suelen emplear también cuñas de madera seca, que mojadas después de introducidas en las cavidades practicadas en la piedra, aumentan de volumen en el sentido transversal de las fibras y determinan hendeduras.

En fin, si la naturaleza de la roca lo permite, se pueden usar, para separar los bloques, sierras análogas á las que más adelante se describirán.

Empleo de substancias explosivas.—Cuando por la dureza de la piedra ó por cualquiera otra circunstancia no convenga rozar la cantera, se hace uso de substancias explosivas para cuartear los bancos. Las que más generalmente se emplean son la *pólvora de mina*, la *nitroglicerina* y la *dinamita*. Sin embargo, como la pólvora es al que más se aplica, sobre todo para la explotación en pequeña escala, se supondrá, por lo pronto, que sea la que se use como materia explosiva, á reserva de señalar, en lugar oportuno, las modificaciones que introduce en el procedimiento el empleo de la dinamita ó de la nitroglicerina.

Disposición de los barrenos.—Para que la pólvora produzca el efecto conveniente, se deposita en unas capacidades abiertas en la roca, cilíndricas, por lo general, que reciben el nombre de *barrenos*. Siempre que se aplique la pólvora debe procurarse hacer uso de la menor cantidad posible, á fin de que todo su efecto se aproveche para cuartear la roca, y no para partirla ni para proyectarla á distancias grandes. Con ese objeto se eligen los puntos en que la roca es más dura y está exenta de grietas y oquedades para abrir el barreno, cuya dirección debe ser normal á las superficies de mínima resistencia. Si, por ejemplo, la roca está estratificada, se disponen los barrenos perpendicularmente á los lechos de cantera, es decir, á las superficies, que determinan el sentido en que la separación de bloques puede efectuarse con más facilidad. En otros casos, sólo la práctica

hace conocer las direcciones más á propósito. Si se quisiera sacar sillares de forma y dimensiones determinadas, podrían emplearse barrenos pequeños, que se llaman *pistoletes* ó *petardos*, colocados en las líneas que figuren el contorno de la pieza.

En la aplicación de la pólvora hay que considerar cuatro operaciones distintas: 1.ª, *apertura del barreno;* 2.ª, *carga;* 3.ª, *atacadura* ó *atraque*, y 4.ª, *explosión*.

Apertura del barreno.—Se empieza por practicar en el sitio en que se quiere abrir el barreno, un orificio pequeño con el puntero ó pico para que agarren las *barrenas*. Estas herramientas se reducen á barras macizas de hierro, que pueden tener diferentes formas, con uno ó sus dos extremos terminados en uno ó varios biseles acerados: á veces se hacen todas de acero para darles mayor resistencia. Las figuras 3.ª, 4.ª y 5.ª, representan barrenas de formas muy usuales.

Según sea su tamaño, se manejan las barrenas por uno ó más hombres. En el primer caso, puede procederse de dos modos diferentes: ó bien sentado el operario, agarra la barra, cuando es corta, por cerca del extremo, y golpeando con un mazo produce la percusión necesaria; ó bien, si es larga, la coge hacia el medio con las dos manos y determina el choque por el peso solo de la barra ó por el esfuerzo que le comunica, si trabaja de pie. Á cada golpe hace girar un poco la herramienta para que el bisel vaya mordiendo por igual. Á fin de que la barrena no se destemple con mucha frecuencia y para facilitar la desagregación de la roca, se echa agua en el barreno; y para evitar que se salga, se tapa la abertura con una arandela de cuero, tepes (masa de arcilla ó tierra muy mezclada con raíces vegetales entrelazadas) ó esparto, de modo que no impida el movimiento de las barras. Cuando el barreno está abierto en una superficie inclinada de la roca, se consigue que no penetren en él las aguas llovedizas, rodeando la boca con arcilla. Las dimensiones ordinarias de las barrenas, cuando las mueve un solo hombre, suelen ser $0^m,70$ de largo por $0^m,02$ de diámetro. Los barrenos abiertos con estas herramientas, tienen, por lo general, $0^m,50$ de profundidad y $0^m,02$ de diámetro. Si han de ser de dimensiones mayores, se emplean varios hombres en su apertura, sentándose uno de ellos para dirigir la barrena, mientras que los demás producen el choque. De este modo se

ha logrado abrir barrenos bastante grandes: los usados en las canteras del puerto de Tarragona, tenían $1^m,50$ de profundidad y $0^m,10$ de diámetro. Cuando sea preciso que los barrenos tengan aún tamaño más considerable, se recurre para abrirlos á máquinas perforadoras movidas por vapor, agua ó aire comprimido; la principal aplicación de estas máquinas es á la construcción de subterráneos.

En el momento que la pasta formada por el agua y los detritos, dificulte la acción de las barrenas, se saca por medio de la cucharilla (fig. 6.ª) Concluida la apertura del barreno y antes de proceder á la carga, se seca aquel perfectamente, á fin de que la humedad no impida la inflamación de la pólvora.

Carga del barreno.—La pólvora que se emplea, casi siempre, es la *de mina,* que se diferencia de las otras clases en que sus granos, en vez de ser poliédricos, son esféricos, y, por tanto, dejando entre si mayor volumen de huecos, queda interpuesto bastante aire, por cuya expansión se aumenta mucho la fuerza de quebrantamiento de la pólvora y se disminuye la de proyección.

La pólvora se compone de nitro, azufre y carbón, desarrollándose por la combustión, en un pequeño espacio, una gran cantidad de gases, cuya fuerza de expansión produce hendeduras, principalmente en las superficies de mínima resistencia. La reacción que se verifica en la combustión de la pólvora, puede formularse del modo siguiente:

$$4\left[\begin{matrix}NO^{2\prime} \\ K\end{matrix}\right\} O\Big] + \left.\begin{matrix}S \\ S\end{matrix}\right\} + 6C = 2K^2S + 2\left[\left.\begin{matrix}N \\ N\end{matrix}\right\}\right] + 6CO^2.$$

En algunas circunstancias, se obtiene una substancia explosiva más barata, pero análoga, mezclando nitro, azufre y aserrín, en proporciones convenientes. Para preparar esta pólvora, se tritura el nitro hasta dejarlo reducido á polvo grueso, se asolea por espacio de cuatro ó cinco horas, para que pierda el agua de cristalización; se mezcla entonces con las aserraduras, que deben ser muy finas y secas, y luego se añade la flor de azufre. Este explosivo, que se ha usado con buen éxito en Cataluña y en el canal de Isabel II (1), tiene la ventaja, además de ser económico, de arder tranquilamente al aire libre, aun en gran cantidad. Sería la mezcla todavía más barata, si en vez de nitro se emplease nitrato sódico; pero esta sal, que es muy delicuescente, tarda mucho en inflamarse y atrae la humedad, razón por la cual no puede reemplazar al salitre.

(1) Las proporciones empleadas fueron 58 partes de nitro, 16 de azufre y 26 de aserrín.

No hay reglas científicas para determinar con exactitud la cantidad de pólvora necesaria, para limitar su acción á cuartear la roca, sin proyectarla á distancias grandes. El general inglés Burgoyne, establece que las cargas deben ser proporcionales á los cubos de las líneas de menor resistencia, entendiendo por éstas la mínima distancia de la carga á las superficies de aquel nombre, que serán las caras exteriores del banco, cuando la roca resista por igual en todos sentidos. Sin embargo, como, por una parte, el coeficiente no puede ser constante, sino que ha de depender de la naturaleza de la piedra y de la posición y dimensiones del barreno, y como, por otra, es muy difícil, por no decir imposible, determinar las líneas de menor resistencia, se comprende bien que la regla no haya recibido la sanción de la práctica. Lo que debe hacerse es aumentar ó disminuir, según aconsejen los resultados obtenidos, la cantidad de pólvora empleada en los primeros barrenos, que, siguiendo el uso general, se cargarán hasta un tercio próximamente de su altura, aunque esta carga suele ser excesiva.

La pólvora se echa, por lo común, en grano, y queda en contacto inmediato con las paredes del barreno; no obstante, cuando éste es horizontal ó inclinado, se envuelve la materia explosiva en cartuchos de papel. Si el barreno se ha de dar debajo del agua, ó si se teme que esté húmedo, se introduce la pólvora en sacos de tela embreada ó en cañutos de hoja de lata. Las filtraciones en los barrenos pueden atajarse tapando las grietas con arcilla.

Atacadura.—Introducida la pólvora y para que resulte formado el oído, se hace penetrar, apoyándola en las paredes del barreno, la *aguja* (fig. 7.ª), de suerte que su extremidad quede dentro de la carga. La aguja es, por lo general, de hierro, aunque convendría fuese de cobre, sobre todo si la roca es silícea ó se emplea arena para los tacos, pues el hierro pudiera producir chispas y ocasionar quizás la explosión estando los operarios al lado del barreno. No se ha generalizado, sin embargo, el uso del cobre, porque obligaría á aumentar

demasiado el diámetro de la aguja, y, por tanto, el del oído, en perjuicio del buen efecto del barreno. Sea cual fuere el metal con que se construyan, deben engrasarse las agujas, con objeto de que no se adhieran á los tacos. Para éstos se usan substancias baratas y que abunden en la localidad. De ordinario se aprovechan las arcillas, las calizas cretáceas, las piedras de yeso, el aserrín, el esparto y la arena.

Para aumentar el efecto de los tacos se comprimen, después de colocados en el barreno, con una *atacadera* (fig. 8.ª), que tiene una ranura, que permite el paso de la aguja. La atacadera es casi siempre de hierro, pero convendría, por las razones antedichas, hacerla de cobre ó madera. Concluído el atraque, se saca lentamente la aguja, haciéndola girar poco á poco y cuidando que no se ciegue el oído para poder colocar la mecha.

Las *mechas ordinarias* consisten en tubos de papel, cañones de plumas, tripas, pajas de centeno ó cañas, que se rellenan de pólvora sola ó formando una masilla con aguardiente ó vinagre. Por la parte inferior, comunican con la carga, para lo cual, si la pólvora está en cartucho, se rompe con la aguja la envoltura, á fin de que pueda introducirse la mecha, que exteriormente se pone en contacto con una pajuela común, un reguero de pólvora ó un pedazo de yesca, de suficiente longitud para que desde que se prenda fuego hasta que se verifique la explosión, tengan tiempo los operarios de ponerse en salvo.

Son preferibles y se usan hoy en casi todas partes las llamadas *salchichas* ó *mechas de seguridad* de Bickford. Consisten en una cuerda de cáñamo ó algodón embreada por el exterior, torcida en forma de hélice y que lleva en su interior un filete de pólvora, que preservado de esa manera de la humedad, se puede emplear sin inconveniente debajo del agua. Contienen de 11 á 12 gramos de pólvora por metro lineal y miden de 5 á 7 milímetros de diámetro. Ofrecen la ventaja de evitar el empleo de la aguja, pues colocada la carga de pólvora en el barreno y antes de poner el taco, se introduce la mecha de seguridad, apoyándola en las paredes del barreno y de modo que quede en contacto con la pólvora (fig. 9.ª) Las substancias que han de servir de taco, se comprimen con la atacadera, en cuya ranura se aloja la mecha. Si el barreno se ha de dar en el agua, como la pólvora debe ir encerrada en sacos impermeables, se tiene cuidado de introducir la mecha en el cartucho, antes de sumergirlo, volviendo á cerrar la abertura, de suerte que no pueda penetrar el agua por ningún intersticio.

La atacadura es una operación muy importante, y cuando no se hace con esmero, se corre el riesgo de que, ofreciendo el taco menos resistencia que las paredes del barreno, no produzca la explosión más efecto que el de dar *bocazo*, es decir, despedir el taco. Asimismo, cuando por haberse cegado el oído, por estar húmedo el barreno ó por malas condiciones de la mecha, arde ésta sin producir la inflamación de la pólvora, se dice que el barreno ha dado *mechazo*.

Explosión.—Para producir la explosión cuando se emplean mechas ordinarias, basta prender fuego al cebo, esto es, á la pajuela, á la yesca ó al reguero de pólvora. Si se usan mechas de seguridad, se destuerce el tejido del extremo y se hace arder la pólvora que contiene, ó bien se quema dicho extremo para lograr que llegue el fuego á la pólvora. Para saber con seguridad la longitud de mecha que se ha de emplear para que los operarios tengan tiempo de retirarse, se hacen experimentos previos, que no presentan ningún inconveniente, tratándose de un artículo de escaso coste. Por término medio, un metro lineal de salchicha de Bickford tarda en arder veinticuatro segundos.

Si el barreno se ha de dar debajo del agua, descienden los operarios con aparatos de bucear *(escafandros)*; la pólvora se coloca en sacos que se hacen impermeables, sumergiéndolos en una composición á propósito, que puede prepararse con 8 partes en peso de pez, una de cera y otra de sebo, derretidas todas las substancias, pero sin haber llegado á hervir. Se da fuego, bien desde el exterior después de haberse separado los buzos unos 4 ó 5 metros, bien debajo del agua, en cuyo caso las mechas de seguridad se pueden inflamar por medio del potasio, que se coloca en contacto con la pólvora de la mecha, preservándolo del del agua, hasta que llegado el momento de dar fuego, lo descubre el operario; el potasio entonces descompone el agua y hace arder el hidrógeno, que á su vez inflama la pólvora de la mecha. Este último procedimiento no se emplea por el coste elevado del metal alcalino.

Si el nivel del agua está bastante por encima de los barrenos, puede prescindirse del taco, porque la presión del líquido ejerce sobre la

carga un efecto completamente análogo al que se consigue con la atacadura en los barrenos ordinarios.

Conviene dar fuego á la vez, é inmediatamente antes de las horas de descanso de los operarios, á todos los barrenos que estén preparados: así se evitan las desgracias que pudieran resultar, si por cualquier circunstancia no se verificase en seguida la explosión de algunos de aquellos. Transcurrido cierto tiempo, pueden aproximarse sin riesgo los trabajadores y separar con palancas las partes cuarteadas y removidas.

GRANDES VOLADURAS.

Cuando se quiere hacer saltar de una vez masas grandes de rocas, los procedimientos anteriores se modifican notablemente. En primer lugar, suele aplicarse la electricidad para dar fuego á los barrenos; en segundo, éstos adquieren dimensiones mucho más considerables, que exigen para su apertura el empleo de medios mecánicos ó de reactivos químicos, convirtiéndose á veces en grandes capacidades, que se denominan *hornillos;* en tercer lugar, la pólvora de mina suele reemplazarse con explosivos más enérgicos; y finalmente, en circunstancias especiales, se recurre á medios de explotación especiales también, entre los que merece citarse la explotación *por arranque,* practicada en algunas localidades. Se examinarán sucesivamente estas diversas cuestiones.

APLICACIÓN DE LA ELECTRICIDAD PARA DAR FUEGO Á LOS BARRENOS.

Método de Roberts.—En el año 1842 se empleó por primera vez la electricidad para dar fuego á los barrenos, debiéndose el aparato ideado en aquella fecha, al Ingeniero inglés Roberts, que aplicaba la pila de Daniell perfeccionada, usando sulfato cúprico en vez de los ácidos nítrico y sulfúrico, y sustituyendo las cajas de barro por una artesa de madera dividida en compartimientos.

Descripción del aparato de Roberts.—De cada lado de la artesa (fig. 10), se eleva un montante de madera, *A*, enlazados entre sí por un eje mal conductor de la electricidad, *B*. Á uno de ellos va unido

invariablemente un disco de estaño *C*, y al otro un disco *D*, también de estaño, por el intermedio de un resorte, que le permite moverse á lo largo del eje. De este último disco parten dos hilos malos conductores, que, atravesando el *C*, van á reunirse más allá en un cordón, *E*, en el que se actúa para poner en contacto los discos, si está quitado el tope, *F*, que sirve para impedir que se unan cuando no ha de funcionar el aparato. El disco *C* comunica por un alambre con el polo negativo, *N*, de la pila.

El conductor está formado por dos alambres de cobre de unos 5 milímetros de diámetro y de una longitud igual á la que media de la pila al barreno; los dos alambres se unen por un tercero, que se arrolla alrededor de ellos; se envuelven con un hilo de algodón encerado, y se recubre todo con lacre, dejando libres los extremos de los alambres, en una longitud de unos $0^{m},50$.

Modo de usar este aparato.—Dispuesta la pila á bastante distancia del barreno, á fin de evitar todo peligro, se coloca el conductor. Los dos cabos de un extremo se ponen en contacto, uno con el disco *D* y el otro con el polo positivo, *P;* los otros dos cabos se atan á dos hilos de cobre, que se introducen en el barreno antes de proceder al atraque. Estos dos últimos hilos, cuya longitud excede en alguna cantidad á la profundidad del barreno, se arrollan dejando libres los extremos; los cabos de uno de éstos quedan fuera del barreno, y son los que se unen á los alambres del conductor; los otros dos penetran en el cartucho (fig. 11), en cuyo interior se enlazan las dos puntas con un hilo muy delgado de platino, *K*. La disposición general del conjunto es la que indica la figura 12.

Unidos de este modo la pila y el barreno por el conductor, se ponen en contacto los discos *C* y *D;* la corriente eléctrica que se desarrolla, encuentra una gran resistencia en el hilo de platino, que se pone incandescente y produce la inflamación de la pólvora.

La figura 13, representa la disposición más común del barreno en estos casos. El cartucho, *B*, está rodeado de cierta cantidad de pólvora, *A*, que sirve para rellenar los huecos que existen entre el cartucho y las paredes del barreno; encima de la carga se deja una capa de aire, *D*, que la separa de un taco de madera ó estopa, *E*, sobre el que se apoya el de arena ó tierra, *F*. Si el taco, *E*, es de madera, lleva una abertura para dejar paso al conductor, *C*.

Inconvenientes de este procedimiento.—Tiene este procedimiento el inconveniente de que para enrojecer el hilo de platino á unos 500 metros de distancia, se necesitan pilas de muchos elementos y de gran superficie, porque son indispensables una intensidad y una tensión considerables en la corriente eléctrica. Se requieren además dos hilos conductores, y no pueden producirse varias explosiones simultáneas.

Procedimiento de Verdú.—Estos inconvenientes se han evitado de muchos modos: se describirá el procedimiento ideado por el Sr. Verdú, Brigadier que fué del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Verdú sustituyó á la corriente directa de la pila una corriente inducida, cuya intensidad y tensión aumentaba con un multiplicador de corriente de inducción, y empleaba además cebos mucho más inflamables. Su aparato consta de cuatro partes: 1.ª, una pila hidroeléctrica, *A*, compuesta de un solo elemento de Bunsen (fig. 14); 2.ª, un carrete de Ruhmkorff; 3.ª, un conductor metálico, *C;* y 4.ª, los cebos de mina, *D*.

Conductor eléctrico.—Es un alambre de cobre de 2 milímetros de diámetro. Si ha de estar enterrado ó sumergido en el agua, se cubre con una capa de gutapercha, y si ha de hallarse expuesto á los ardores del sol, se recubre esta última capa con otra compuesta de una mezcla de gutapercha y flor de azufre, para que no se reblandezca. Estos conductores son flexibles, se arrollan fácilmente y apenas se deterioran con las explosiones. Si hay que alargar el conductor, se descubre el extremo de los hilos que van á unirse, en una longitud de unos $0^m,05$; se limpian con esmero, se enlazan retorciéndolos con unos alicates, y se cubre la unión con gutapercha reblandecida.

Cebos.—Para disponer los cebos, se principia por preparar unos tubos de gutapercha, cubiertos interiormente de sulfuro de cobre. Para esto se amasa en caliente la gutapercha con azufre, y se envuelven con esta pasta trozos de alambre de cobre, de un diámetro igual al calibre de los tubos que se han de preparar. Al cabo de algunos días se sacan los alambres, obteniendo así los tubos con la capa interior de sulfuro metálico. Se cortan estos tubos en trozos de unos $0^m,03$ de longitud (fig. 15), y hacia el medio se practica la muesca *C;* se cortan también trozos de alambre de cobre, de unos $0^m,50$ de longitud, cubiertos de gutapercha, y cuyo diámetro es menor

que el del conductor; se descubren los extremos *A* y *B* (fig. 16) de estos alambres, y después de limpios, se introducen en los tubos préviamente preparados, de modo que dejen entre sí y hacia el medio de la muesca *C*, un intervalo de unos 5 milímetros. En ese hueco se colocan con precaución unas lentejuelas de fulminato de mercurio (cianato de mercurio) $\left.\begin{matrix}(NC')^2\\ Hg''\end{matrix}\right\} O^2$, que se prepara haciendo actuar alcohol sobre el nitrato ácido de mercurio. Se retuercen entonces los hilos como indica la figura, cuidando de que queden descubiertos los dos extremos de los alambres. Para transportar los cebos, se colocan el tubo *A B* y las partes de alambre más próximas, en un dedal de gutapercha, que se suele rellenar de pólvora. Se cierra el dedal reblandeciendo los bordes y apretándolos contra el alambre, quedando en la disposición que marca la figura 17.

Manera de operar.—Para producir la explosión, una vez colocados en el sitio conveniente la pila y el multiplicador (fig. 14), se tiende el conductor, *C*, uniéndolo por un extremo á uno de los polos del carrete, al positivo por ejemplo; se une el otro extremo á uno de los alambres del cebo, *D;* el otro alambre de éste y el polo negativo del carrete, se ponen en contacto con la tierra. Haciendo entonces funcionar la pila, se verifica la explosión instantáneamente.

Si hay varios hornillos ó barrenos próximos, se pueden hacer saltar á la vez y con un solo conductor. Los cebos, en tal caso, deben comunicar entre sí, el primero además con el conductor, y el último con la tierra, como se ve en la figura 18, en la que *a*, *b* y *c* representan tres barrenos. Si la distancia entre los hornillos ó barrenos fuere mayor que la que separa á cada uno de ellos del carrete, convendrá, por economía, emplear un conductor para cada barreno. Se recogerán entonces con una manecilla los extremos de los conductores, y poniéndolos sucesivamente en contacto con el polo positivo del carrete, se verificarían todas las explosiones en un tiempo inapreciable.

El empleo de la electricidad para la explosión de minas, ha recibido grandes perfeccionamientos, debiéndose los más importantes á Du Moncel y Savary, en Francia; á Abel, en Inglaterra, y al barón von Ebner, en Alemania. No se insistirá en este asunto por creer suficientes las indicaciones que preceden.

MÉTODO DE LAS CÁMARAS, DE COURBEBAISSE.

Cuando se trata de desmontar un volumen considerable de roca, se ha observado que produce mayor efecto un barreno de grandes dimensiones que varios pequeños, cuyas capacidades reunidas sean iguales á las del primero, porque éstos tienen el inconveniente de producir demasiada división en la roca.

Para facilitar el empleo de barrenos grandes, disminuyendo los gastos que ocasiona su apertura, Courbebaisse ideó un procedimiento, que está fundado en la propiedad que tienen los ácidos enérgicos de atacar y disolver las piedras calizas, no debiéndose emplear, por tanto, cuando las rocas que se hayan de explotar sean de otra naturaleza. Se comienza por abrir un barreno del modo ordinario; se hace descender un tubo de cobre por la boca hasta la profundidad donde se quiere que empiece el ensanche, tapando perfectamente con estopa y arcilla los intersticios que quedan entre las paredes del barreno y el tubo (fig. 19). Por el interior de éste se hace bajar otro de menor diámetro, que puede ser también de cobre, ó de plomo ó gutapercha, hasta el fondo del barreno, poniéndolo además en comunicación con la parte inferior de un recipiente, *A*, donde se coloca el ácido, que, por lo general, es el clorhídrico, tanto por ser barato, como por la solubilidad del cloruro cálcico que produce la reacción. Se echa al principio un litro de ácido y dos de agua; al contacto de las paredes del barreno con el ácido, se produce la siguiente reacción:

$$2\left(\begin{matrix}H\\Cl\end{matrix}\right\}\Big) + \left.\begin{matrix}CO''\\Ca''\end{matrix}\right\} O^2 = \left.\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix}\right\} Ca'' + CO^2 + \left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\} O.$$

Parte del líquido sube por el tubo ancho arrastrado por el anhidrido carbónico que se desprende, yendo á parar á una artesa grande, *B*. La reacción tarda unos treinta minutos en desarrollarse por completo; cuando ha terminado, se saca el líquido que queda en el interior, y que es casi exclusivamente una disolución de cloruro cálcico. Se vierte después en tres veces, de cuarto en cuarto de hora, otro litro de ácido con igual cantidad de agua; se deja obrar dos horas, y se limpia la cavidad. Estas operaciones, que duran en junto unas tres horas, se

repiten cinco veces al día, continuando del mismo modo los días sucesivos, aumentando la cantidad de ácido á medida que se ensancha el barreno y dejándolo obrar más tiempo.

No debe extraerse el líquido hasta que esté saturado, lo que se conocerá sacando un poco y viendo si actúa sobre la roca.

Si hay grietas por las que se escape el ácido, lo que se podrá conocer por la cantidad de cloruro cálcico que resulte de la operación, se taparán aquellas, echando en el barreno una lechada muy clara de yeso, que no es atacado por el ácido y que poco á poco va rellenando las hendeduras.

Cuando la capacidad tiene las dimensiones convenientes, se seca y se procede á la carga, atacadura y explosión, del mismo modo que en los barrenos ordinarios. Como en estas cámaras se halla muy comprimida la pólvora, es muy difícil que el barreno dé bocazo; más fácil es que se produzca mechazo, si la pólvora se ha humedecido algo.

Estando la carga bien proporcionada, apenas hay detonación ni proyección, no oyéndose más ruído que el que produce la masa entera al desunirse súbitamente, quedando cada trozo en su sitio, pero sin que ofrezca dificultad su separación por medio de palancas.

La cantidad de ácido clorhídrico que se necesita se deduce con facilidad, partiendo de los pesos moleculares del carbonato de calcio y del ácido, que entran en la reacción antes escrita. De aquellos guarismos resulta que un kilogramo de caliza exige para su descomposición $0^{kg.},72$ de ácido puro; pero como el ácido clorhídrico del comercio no contiene más que un 40 por 100 de ácido puro, se ve que para descomponer un kilogramo de caliza hay que emplear $\frac{72}{40} = 1^{kg.},80$ de ácido del comercio.

Para calcular el número de kilogramos de ácido que son necesarios para descomponer un decímetro cúbico de roca, no hay más que multiplicar $1^{kg.},80$ por la densidad del carbonato cálcico, que es próximamente 2,70, tratándose de piedra muy compacta, lo que da $4^{kg.},96$, ó cerca de 6 kilogramos para compensar las pérdidas.

HORNILLOS.

Cuando hay que efectuar voladuras grandes y no bastan los métodos ordinarios, se reemplazan los barrenos con vastas capacidades denominadas *hornillos*, siguiendo uno de los dos métodos que se describen á continuación.

Método de pozos.—En la parte de roca que se quiere atacar (fig. 20), se practica un pozo, *P*, del fondo del cual se hace partir, bien una galería de la que se derivan otras varias, ó ya una serie de galerías en forma radiada, adoptándose uno ú otro sistema, según la disposición de la roca que se trata de volar. Las dimensiones de estas galerías deben ser las suficientes para que pueda trabajar en ellas un hombre; bastará que tengan de $0^m,90$ á $0^m,95$ de altura, y $0^m,50$ á $0^m,60$ de ancho.

Al final de estas galerías, se construyen una ó más cámaras llamadas *hornillos*, donde se introduce la pólvora encerrada en barriles (fig. 21), y en los que penetran los conductores que se vayan á emplear. Se rellenan con mampostería los vacíos que dejan en el hornillo los barriles de pólvora y se cierran también con idéntica fábrica, las galerías, cuidando de dejar paso á los conductores, y verificándose la explosión por los medios indicados.

Por este procedimiento se hicieron saltar en los desmontes del ferrocarril de Dover hasta 500.000 metros cúbicos de piedra, con 8 toneladas de pólvora.

Método de galerías.—Otras veces, en lugar de un pozo, se abre una galería (fig. 22), y al extremo de ésta se perforan las que han de terminar en los hornillos. Este sistema es más ventajoso en algunos casos, si la disposición de la roca se presta á ello, pues es mucho más económica la extracción de los productos, pero tiene el inconveniente de que los hornillos pueden dar bocazo con mayor facilidad que en el caso anterior.

Cantidad de pólvora que exigen los barrenos y los hornillos.—Según la regla dada por el general Burgoyne, la carga media que en los barrenos ordinarios viene dada en libras inglesas (1)

(1) Una libra inglesa = $0^{kg.},4535$.

por $\frac{1}{52}$ del cubo de las líneas de menor resistencia medidas en pies ingleses (1), debe ser para las voladuras grandes de $\frac{1}{15}$ á $\frac{1}{20}$ de la misma cantidad, si se usan pozos, y de $\frac{1}{12}$ á $\frac{1}{10}$, si se emplean galerías. Estas reglas empíricas deben acogerse con mucha reserva.

De las observaciones hechas en las voladuras efectuadas en las obras del puerto de Holyhead (Inglaterra), se ha deducido otra regla, que puede ser de alguna más utilidad. Se reduce á emplear una libra inglesa de pólvora, por cada dos toneladas (2) de piedra, en el caso de galerías, y por cada tres, en el de pozos. Estos números, exactos para las voladuras de Holyhead, pueden no convenir á otras, y será necesario calcular la cantidad de pólvora, en vista de los resultados que se obtengan experimentalmente en los primeros desmontes que se hagan en una cantera.

OTRAS SUBSTANCIAS EXPLOSIVAS.

En la actualidad es muy común sustituir la pólvora de mina por otras substancias explosivas más enérgicas, en los desmontes de cierta consideración. Se darán á conocer, con algún detalle, las más importantes, que son la *nitroglicerina* y la *dinamita*, consagrando después breves palabras á otras menos usadas.

Nitroglicerina.—$C^3H^5O^9N^3$.

Esta substancia se obtiene haciendo actuar el ácido nítrico sobre la glicerina ordinaria,

$$\left\{\begin{matrix} CH^2 - OH \\ | \\ CH - OH \\ | \\ CH^2 - OH \end{matrix}\right\}.$$

Si la glicerina obrase como un hidrato, la nitroglicerina tendría

(1) Un pie inglés = $0^m,3048$.
(2) Una tonelada inglesa = $1.015^{kg.},65$.

la fórmula correspondiente á un nitrato, que se obtendría sustituyendo los tres átomos de hidrógeno típico por el residuo halogénico del ácido nítrico, NO^2, resultando:

$$\left.\begin{matrix} CH^2 - ONO^2 \\ | \\ CH \;\; - ONO^2 \\ | \\ CH^2 - ONO^2 \end{matrix}\right\} = C^3H^{3'''}\left\{\begin{matrix} ONO^2 \\ ONO^2 \\ ONO^2 \end{matrix}\right\},$$

fórmula que, condensada, coincide con la admitida para el compuesto que se estudia.

Sin embargo, la nitroglicerina no se puede considerar como un nitrato, pues no sólo carece de los caracteres generales de los nitratos (no es soluble en el agua, no deflagra en los carbones encendidos, etcétera), sino que como la glicerina no es un hidrato, es evidente que no procede efectuar la formación de la nitroglicerina del modo que se ha supuesto, que servirá, no obstante, para explicar el nombre y facilitar el recuerdo de la fórmula.

Propiedades.—Tiene el aspecto de un aceite amarillento; su densidad es de 1,60; es soluble en el alcohol y en el éter, pero no en el agua; expuesta á un frío poco intenso, cristaliza en agujas alargadas. La nitroglicerina tiene un sabor azucarado, aromático y picante á la vez; es tóxica, y produce, en pequeñas dosis, fuertes dolores de cabeza. Esparcida por el suelo, la inflama con dificultad un cuerpo en combustión, y arde poco á poco. Se puede volatilizar á fuego lento, sin que se modifique; pero si la ebullición llega á ser activa, su detonación es inminente. Cuando esta substancia contiene impurezas, puede descomponerse espontáneamente con desprendimiento de gases. Á esta causa se deben, sin duda, los efectos desastrosos que en varias ocasiones ha producido: estando en botellas bien tapadas, los gases que provienen de su alteración, no pueden encontrar salida y ejercen una gran presión sobre ella; en estas circunstancias, el menor choque ó movimiento determina la explosión.

Resulta, pues, que el medio más á propósito para hacerla detonar consiste en someterla á un choque violento, verificándose entonces una descomposición, que no se conoce con exactitud, pero que hipotéticamente se puede formular así:

$$4\,(C^3H^5O^9N^3) = 12\,CO^2 + 10\left(\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O\Big) + 6\left(\begin{matrix}N\\N\end{matrix}\right\}\Big) + \begin{matrix}O\\O\end{matrix}\Big\}.$$

De esta fórmula se desprende que la nitroglicerina contiene más oxígeno del necesario para producir la combustión de sus elementos. Se puede aprovechar este oxígeno para quemar una pequeña cantidad de azufre, alcohol ó petróleo.

Á igualdad de peso produce tres veces y media más gases que la pólvora de caza, y seis á igualdad de volumen. En cuanto á la temperatura desarrollada, viene á ser doble á pesos iguales que la correspondiente á la pólvora (1). El trabajo máximo en kilográmetros es doble ó triple que el de la pólvora, según se consideren pesos ó volúmenes iguales.

Es tal la enormidad de las presiones iniciales que desarrolla la nitroglicerina, que llega á determinar la rotura del hierro forjado, efecto que no se consigue con la pólvora.

Preparación.—La glicerina se obtiene saponificando las grasas animales con óxido plúmbico (litargirio). Este último precipita los principios inmediatos de las grasas: estearinas, margarinas y oleínas, bajo la forma de estearatos, margaratos y oleatos de plomo insolubles, y la glicerina aislada se disuelve en el agua. Como esta disolución suele contener alguna cantidad de litargirio, se purifica haciendo pasar por ella una corriente de hidrógeno sulfurado, que precipita el plomo en estado de sulfuro; se concentra entonces el líquido á fuego lento, y se acaba la evaporación en el vacío.

Con la glicerina así obtenida, se prepara de varios modos la nitroglicerina, mezclando íntimamente aquella substancia, ya con ácido sulfúrico concentrado y nitratos de potasio ó sodio, ya con ácido nítrico en diversos estados de concentración. Todas estas manipulaciones deben hacerse con el mayor esmero, para evitar los desastres que puede producir la explosión de la nitroglicerina.

Uso de la nitroglicerina.—Si se quiere desmontar un banco de ro-

(1) Según Berthelot, el volumen de gases formados por un kilogramo de pólvora de caza es de 216 litros, y de 710 el que produce igual peso de nitroglicerina. Las cantidades de calor desprendidas por kilogramo de pólvora y nitroglicerina, son 641.000 y 1.320.000 calorías, respectivamente.

ca, á 2^m,50 ó 3 metros de la arista exterior, se abre un barreno de 2 á 3 metros de profundidad: después de haber sacado groseramente del interior el agua, el barro y la arena, se vierten con un embudo de 1.500 á 2.000 gramos de nitroglicerina, se hace bajar en seguida un tubito de unos 0^m,04 de diámetro y de 0,05 á 0,06 de alto, lleno de pólvora ordinaria, al que va unida una mecha de seguridad, que penetra hasta cierta profundidad para inflamar la pólvora en un momento dado: el cilindro se baja por medio de la mecha, y el tacto basta para conocer el momento en que llega á la superficie de la nitroglicerina. En este instante se conserva la mecha inmóvil, y se echa arena fina hasta llenar todo el barreno, siendo inútil y peligrosa toda compresión ó atacadura. Se corta la mecha á algunos centímetros del barreno y se le prende fuego; al cabo de pocos minutos, la combustión llega al cilindro é inflama la pólvora, resultando un choque violento que hace detonar la nitroglicerina.

La explosión es tan rápida, que la arena no tiene tiempo de ser lanzada; se ve levantarse la masa de la roca, cambiar de posición y volver á caer tranquilamente, al propio tiempo que se oye una detonación sorda.

La potencia de la fuerza desarrollada por la explosión, se conoce aproximándose al sitio donde se ha verificado. Se ven masas enormes de roca ligeramente removidas, pero agrietadas en todos sentidos y en disposición de desmontarse con palancas. La ventaja principal consiste en que la piedra se destruye poco y el desperdicio es insignificante. La carga indicada de nitroglicerina, basta, por lo general, para desmontar de 40 á 80 metros cúbicos de roca; el volumen tiene que variar entre límites muy extensos, pues depende, en primer término, de la dureza de la roca y de su disposición.

Siendo deletéreos los gases desarrollados por la explosión, conviene, antes de emprender nuevas labores, dejar pasar una ó dos horas para que hayan tenido tiempo de esparcirse por la atmósfera.

Dinamita.—Composición y propiedades.—Se han visto los grandes inconvenientes que presenta el uso de la nitroglicerina. Conservar la fuerza explosiva de esta substancia, haciendo desaparecer aquellos, era un problema de demasiada importancia industrial para pasar inadvertido á los ojos de los hombres científicos. El Ingeniero sueco Nobel, ha conseguido resolverlo, mezclando la nitroglicerina

con un 25 á 75 por 100 de sílice, alúmina, polvo de ladrillo ú otra materia inerte, que tenga un gran poder absorbente para que la nitroglicerina conserve su fuerza.

Las dinamitas de Nobel, se clasifican en las fábricas por la cantidad de líquido explosible que contienen y la naturaleza del cuerpo poroso, en tres clases distintas: la número 1, se elabora con buena sílice que absorbe un 75 por 100 de nitroglicerina, y tiene un color claro y sonrosado por la adición de una pequeña cantidad de cólcotar; se emplea para obtener el mayor efecto posible con el menor volumen de carga y siempre que ésta haya de obrar debajo del agua: la número 2, tiene un 50 á 55 por 100 de explosivo, y varia en coloración con la naturaleza de las materias inertes mezcladas, usándola cuando el esfuerzo ha de actuar sobre una gran superficie; por último, la número 3, sólo encierra de 25 á 30 por 100 de nitroglicerina, es de un color pálido de tierra, y recibe su principal aplicación para el desmonte ó quebrantamiento de rocas muy duras y secas.

En España hay montadas varias fábricas de dinamita; pero la más importante es la establecida en Galdácano, cerca de Bilbao.

Las dinamitas conservan, aunque algo amortiguadas por la substancia porosa, todas las propiedades explosivas de la nitroglicerina, y pueden transportarse, manejarse y almacenarse sin exposición alguna.

De los experimentos hechos en 1868, resulta que la dinamita soporta los efectos del calor y del choque, sin producir generalmente explosión; tan sólo cuando se la expone á una alta temperatura en vasos resistentes y herméticamente cerrados, ó cuando se la somete á un choque violento entre cuerpos duros, es cuando se hacen temibles los efectos de su explosión, que son más violentos cuando está congelada.

En contacto de una llama al aire libre, arde sin explosión. Cuando se quiere producir ésta, se somete la dinamita á la acción del choque violento causado por la detonación de un fulminante. La explosión es instantánea, haciendo estallar las piezas más duras y los metales más resistentes, sin necesidad de taco.

Á causa de su insolubilidad, la dinamita sirve lo mismo para los barrenos debajo del agua que para los abiertos en seco. Su acción es

esencialmente quebrantadora, extendiéndose sus efectos á una zona ó esfera de un radio igual, por término medio, á la longitud del barreno, creciendo, sin embargo, cuanto más se aproxima la dirección de este último á la normal á la superficie de la excavación que se intenta practicar. La manera de obrar de esta substancia, explica que no pueda reemplazar á la pólvora en las armas de fuego.

No se conoce á punto fijo la reacción que se efectúa en la explosión de la dinamita, aunque es probable sea la misma que se indicó al tratar de la nitroglicerina, quedando libre, por tanto, cierta cantidad de oxígeno, que pudiera aprovecharse, como en aquel caso, añadiendo á la dinamita, en la debida proporción, alguna substancia combustible, por ejemplo, $\frac{5}{100}$ de azufre, $\frac{2}{100}$ de alcohol ó $\frac{1}{100}$ de carburo de hidrógeno.

Uso de la dinamita.—La dinamita se expende en cartuchos de distintos tamaños, formados de papel consistente é impermeable; en cada barreno se colocan uno, dos ó más cartuchos, según su tamaño, y en el último, que es más pequeño y que se llama *cartucho-cebo*, se introduce el extremo de la salchicha ó conductor en que se ha fijado el fulminante, volviéndolo á cerrar y atándolo perfectamente á la mecha; cada cartucho se mete en el barreno, apretándolo un poco con una atacadera de madera, pero cuidando de que quede aire interpuesto, á fin de que dé resultado la explosión; sobre el cartucho-cebo se echa un poco de arena ó agua, que sirva de taco, dejando fuera una longitud suficiente de mecha para que los operarios se pongan en salvo. Como la dinamita es una substancia que la piel absorbe con facilidad y que ataca al sistema nervioso, hay que lavarse las manos después de preparar el cebo, teniendo también la precaución de dar lugar á que desaparezcan los gases producidos por la explosión, antes de aproximarse al barreno, para evitar la perniciosa acción de aquellos en el organismo.

Aunque el precio de la dinamita viene á ser séxtuplo del de la pólvora ordinaria, las ventajas producidas por la mayor fuerza explosiva de este agente, y la diminución de mano de obra y coste de herramientas, hacen, sin embargo, que el empleo de esta substancia dé, en grandes desmontes de rocas duras, una economía que varía generalmente del 17 al 50 por 100.

El uso de la dinamita es reciente. En España se empleó por primera vez en 1871, en una mina de carbón de la provincia de Burgos.

Otros explosivos menos usados.—Algunos explosivos, que han estado muy en boga, han perdido su importancia, desde que se ha generalizado la dinamita; entre ellos conviene citar el *algodón pólvora* ó *piroxilina*, que se obtiene sumergiendo el algodón, durante quince minutos, en una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico. La piroxilina es de aplicación peligrosísima, porque es frecuente su explosión espontánea, que se atribuye á los compuestos detonantes que origina el ácido nítrico al actuar sobre algunas de las impurezas del algodón.

En las publicaciones científicas aparecen todos los días recetas de nuevos explosivos, pero ninguno de ellos está garantido por la experiencia. Bastará indicar los siguientes:

1.° La *dinamita-goma*, inventada también por Nobel, que se compone de 93 á 94 partes de nitroglicerina y de 7 á 6 de algodón pólvora soluble ó *colodión*, y que tiene mayor potencia que la dinamita.

2.° La *pólvora amoniacal de Hércules*, que, como la anterior, es más enérgica que la dinamita, y se compone de 80 partes de nitrato amónico, 6 de carbón y 10 á 20 de nitroglicerina.

3.° La *sebastina*, que es una mezcla de nitroglicerina, carbón y azufre, ó sea una pólvora en que se reemplaza el nitro con nitroglicerina.

EXPLOTACIÓN POR ARRANQUE.

Cuando la formación geológica de la roca es tal que los bancos de piedra están separados unos de otros por tierra ó detritos, se pueden explotar las canteras por el método llamado de *arranque*, usado con buen éxito en las canteras de Monjuich (Barcelona).

Consiste en abrir normalmente al corte de la cantera, y en un banco de bastante resistencia, varias galerías que se profundizan hasta encontrar á otra, paralela al frente de la escarpa (fig. 23). Se empiezan á desmontar los apoyos, que separan entre sí las primeras galerías, lo suficiente para producir el desplome de la masa. Con objeto de evitar desgracias, un capataz ú operario experimentado se coloca en la parte exterior de la cantera, y está constantemente observando

la roca para hacer una señal convenida, en el momento que ésta empiece á desprenderse. En cuanto oyen la señal, se retiran los trabajadores á la galería del fondo, hasta que haya cesado el desprendimiento, saliendo luego por una de las últimas galerías normales, que siempre se dejan libres.

Esta clase de explotación da excelentes resultados desde el punto de vista económico, pero presenta dos grandes inconvenientes. El primero es que no se puede emplear sino cuando la roca ofrece condiciones especiales, y el segundo, que expone á los operarios á tan graves peligros, que no es prudente admitir el procedimiento más que en localidades en que se practique de antiguo.

EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA.

La dirección de la explotación, en lo que se refiere al quebrantamiento de la roca y á la extracción de los bloques, se dirige en este caso, como en el de las canteras al descubierto. Las únicas cuestiones que hay que explicar, se reducen al acometimiento de los trabajos hasta llegar á los bancos que se vaya á explotar, y á las precauciones especiales que deben tomarse en la prosecución de las obras.

El examen de las circunstancias más comunes, que se pueden presentar en estas explotaciones, hará conocer la marcha que convenga establecer en cualquiera otra. Los bancos de piedra afectan generalmente una de las cuatro disposiciones siguientes: 1.ª, las capas presentan sus cabezas en las escarpas de un valle; 2.ª, están colocadas bajo una meseta, á mayor ó menor profundidad; 3.ª, son paralelas á la misma ladera que las cubre; y 4.ª, son paralelas á la ladera opuesta del valle.

Primer caso.—El medio más sencillo de explotación consiste en abrir en el sentido de las capas, sea horizontalmente, sea subiendo ó bajando, una galería, *A* (fig. 24), llamada *de dirección,* de suficientes dimensiones para el servicio de arrastre, y prolongando esta galería hasta donde sea oportuno, se empieza á atacar la roca en el sitio más conveniente. Para facilitar la explotación se principia por extraer la capa de piedra que parece menos sólida, y cuando á consecuencia de esta operación, se hallen suficientemente descubiertas las capas superiores é inferiores, se atacan por los métodos conocidos.

Prosiguiendo de este modo, se llega á tener en medio del macizo una excavación, que se puede agrandar con facilidad, tomando las precauciones necesarias para afianzar la parte superior de la cantera, pues es muy raro que las capas que forman el techo tengan bastante resistencia para que no haya derrumbamientos, cuando el desmonte ha adquirido cierta extensión. Á fin de impedir que se desplome y evitar numerosas desgracias y la interrupción de los trabajos, es menester apuntalar el techo con pies derechos de madera, ó lo que es mejor, dejar en medio del macizo explotado machones de la misma roca. La disposición y la distancia de estos machones, *P*, dependen de las circunstancias especiales de cada caso.

Cuando no se emplea la piedra menuda que resulta de la explotación, para hormigones ó cualquier otro objeto, se rellenan con ella las cavidades que se abandonan en la cantera, aumentando de ese modo las condiciones de estabilidad.

Segundo caso.—Si se trata de capas colocadas bajo una extensa meseta, á una profundidad tal que haga imposible el ejecutar económicamente el ataque al descubierto, se abre un pozo, *B* (fig. 24), para llegar hasta el punto más bajo de la explotación que se proyecta. Desde el fondo del pozo se perfora una galería de dirección y se sigue la explotación exactamente como en el caso anterior.

Tercero y cuarto caso.—La marcha general de la explotación es la misma. Abierta una galería de dirección, *B* (figs. 25 y 26), que permita llegar á los bancos de piedra y sirva para el arrastre de los bloques, se practican á izquierda y á derecha excavaciones del espesor de las capas que se quiere extraer, operando como en los casos precedentes.

Prescripciones generales.—Estos ejemplos bastan para dar una idea de la marcha que se debe seguir en cualquier circunstancia que no coincida con ninguna de las explicadas.

Si se trata de explotar una roca compacta, será menester abrir las galerías en el sentido en que la roca se rompa cpn mayor facilidad, esto es, en el de las superficies de mínima resistencia.

En casi todas las canteras subterráneas, cuando la explotación llega á cierta profundidad, se encuentran manantiales que anegarían

los socavones y harían imposible los trabajos, si no se pudiera dar salida al agua que producen. Cuando las galerías son horizontales ó ascendentes, ofrecen un medio muy sencillo de extraer el agua que se encuentre en la cantera, siempre que las excavaciones no hayan llegado por debajo del nivel de aquella. En los demás casos, es necesario emplear máquinas de agotamiento: á veces bastan bombas ordinarias, movidas á brazo; en otras ocasiones, es indispensable montar máquinas hidráulicas de gran potencia.

Otro inconveniente hay que combatir en las canteras subterráneas; la dificultad de renovar el aire viciado por la respiración de los operarios, la combustión de las lámparas y la explosión de los barrenos; comúnmente se remedia esta dificultad abriendo uno ó más pozos, que renuevan el aire con el tiro que establecen. Cuando no se puede recurrir á ese medio, se efectúa la ventilación, inyectando aire puro, por medio de máquinas; el estudio de estos importantes detalles, que reciben su principal aplicación en la perforación de túneles, sale fuera de los límites de esta obra.

PREPARACIÓN DE LOS BLOQUES.

División de bloques.—Como generalmente los bloques que se obtienen por los medios que se han indicado, son muy grandes y difíciles de transportar, es menester partirlos para darles las dimensiones convenientes; unas veces se consigue dividirlos con cuñas y palancas, otras por medio de pistoletes; otras basta *marrearlos*, es decir, golpearlos con una maza pesada.

Hendimiento.—Cuando la piedra, en vez de ser compacta, es de estructura esquistosa, se aprovecha esta disposición para henderla ó dividirla en lajas, por medio de cuñas ó de cuchillos, que se hacen penetrar entre las hojuelas. De ese modo se obtienen las placas de pizarra que sirven para cubiertas, para solados, etc. (1).

(1) Las dimensiones de las láminas de pizarra son muy variables: como ejemplo se insertan á continuación las admitidas por la *Compañía pizarrera*, de Villar del Rey (Badajoz):

Desbaste y labra.—Partidos los bloques, es necesario en muchos casos *labrarlos*, para lo cual se principia por *desbastarlos*, ó sea darles una forma que se aproxime á la que han de tener los si-

Pizarras para cubiertas.

Número de orden.	Dimensiones.	OBSERVACIONES.
1	m 0,65 × 0,35	Las pizarras son de forma rectangular, pero también se cortan rombales y de otras figuras. El peso de un metro cuadrado de cubierta de pizarras, varía, según las dimensiones de éstas, entre 25 y 30 kilogramos.
2	0,66 × 0,34	
3	0,60 × 0,35	
4	0,60 × 0,30	
5	0,55 × 0,30	
6	0,45 × 0,30	
7	0,50 × 0,25	
8	0,40 × 0,30	
9	0,35 × 0,25	
10	0,32 × 0,22	
11	0,40 × 0,15	
11 duplicado	0,30 × 0,20	
12	0,25 × 0,15	

Pizarras para pavimentos.

DIMENSIONES.	PESO APROXIMADO DE 1.000 PIZARRAS.	
	Sin labrar.	Labradas.
	Kilogramos.	*Kilogramos.*
0,29 × 0,29	3.380	3.150
0,28 × 0,28	3.150	2.940
0,27 × 0,27	2.940	2.730
0,26 × 0,26	2.730	2.540
0,25 × 0,25	2.540	2.340
0,24 × 0,24	2.340	2.160
0,23 × 0,23	2.160	1.980
0,22 × 0,22	1.980	1.820
0,21 × 0,21	1.820	1.650
0,20 × 0,20	1.650	1.500
0,19 × 0,19	1.500	1.350
0,18 × 0,18	1.350	1.220
0,17 × 0,17	1.220	1.080
0,16 × 0,16	1.080	960
0,15 × 0,15	960	840
0,14 × 0,14	840	740

llares labrados. El desbaste se ejecuta casi siempre con el pico y el puntero; la descripción de estas herramientas y de las que se usan para la labra, así como la manera de efectuar las dos operaciones, se explican con detalle en el curso de Estereotomía. Conviene tener presente que en ciertas obras de cantería, se emplean las piedras simplemente desbastadas.

Aserramiento.—En algunos casos se pueden dividir los bloques y obtener á la vez una gran regularidad en las superficies, por medio de *sierras*, que se emplean:

1.° Cuando las piedras son suficientemente blandas, para que aquellas herramientas sean de fácil y ventajosa aplicación.

2.° Cuando, siendo duras las piedras, tienen un precio bastante elevado para que haya interés en desperdiciar la menor cantidad posible, ó cuando, por ser caras y poco abundantes, no se empleen más que en revestimientos, lo que exige prepararlas en placas delgadas, que no se podrían sacar del bloque por otro procedimiento. La mayor parte de los mármoles están en este último caso.

Según la dureza de las piedras, se efectúa su división ó labra: 1.° Con sierras ordinarias, que no difieren de las empleadas para la madera, sino en que sus dientes son más resistentes y cortos. 2.° Con sierras llamadas *de arena y agua*, muy parecidas á las precedentes, pero cuya hoja no está dentada. Se facilita la acción de la hoja, echando continuamente en la hendedura que produce, arena silícea, fina y mojada. Como estas sierras tienen algunas veces dimensiones considerables, para facilitar su maniobra, se suspenden por medio de una cuerda á dos pértigas flexibles hincadas en el suelo (fig. 27). 3.° En fin, en instalaciones permanentes, es común emplear, para la obtención de placas delgadas de mármol ú otras piedras, grandes sierras de varias hojas (fig. 28), cuya maniobra suele exigir una fuerza de bastante entidad.

Diferentes clases de labra.—Teniendo en cuenta la naturaleza de las superficies, se distinguen en la práctica tres clases de sillería labrada, que son: *sillería recta*, en la que todas las caras labradas son rectangulares; *sillería aplantillada*, en la que las caras labradas son polígonos rectilíneos, aunque también se comprenden en este grupo las dovelas de las bóvedas y algunas otras piezas que presentan superficies curvas; y *sillería moldurada*, que, según su nombre indica, abraza los sillares cuyas caras están adornadas con molduras.

Como fácilmente se comprende, la más barata de estas tres labras es la primera, y la más cara la última. Aunque sería lo natural, no se suele pagar la labra de los sillares, por metro cuadrado de superficie labrada: casi siempre se paga por metros cúbicos; por eso deberá tenerse en cuenta la superficie que se labre en cada caso, al calcular el precio del metro cúbico de fábrica.

Pulimento y brillo.—Una vez labrados los sillares, bien por los métodos ordinarios, bien por medio de la sierra, exige algunas veces la clase de obra á que se destinan, que se pulimenten con perfección sus superficies. Si se trata de piedras labradas á cincel, se principia generalmente por destruir las desigualdades que presentan aún, asperonándolas con una arenisca un poco más dura que la piedra, cuya acción se facilita mojando las superficies en contacto y espolvoreándolas con arena fina. En las piedras aserradas se puede suprimir esta primera frotación y proceder desde luego á la segunda, que se efectúa con un asperón algo menos basto y duro que el anterior, y cuya acción se hace seguir por la de otras dos areniscas sucesivamente más blandas.

Por lo general, después de estas frotaciones, se pasa á la última operación, que consiste en dar brillo á la pieza; sin embargo, en algunos mármoles blancos y negros se apomaza antes la superficie. Para dar el brillo se frota el mármol, primero con una mezcla de esmeril (alúmina impura cristalizada) y de limaduras de plomo, y después con ácido metastánico y polvos calcinados de huesos de carnero. Algunas veces, para sacar con más rápidez el brillo, se añade á aquellos ingredientes un poco de alumbre, pero las superficies preparadas de este modo se empañan con facilidad. También, aunque tiene idéntico inconveniente, se puede emplear una encáustica formada por una mezcla de cera amarilla y trementina.

No siempre se necesita un pulimento tan perfecto como el que se consigue con las minuciosas operaciones que se han reseñado, y puede bastar la alisadura que produce el roce más ó menos prolongado de dos piedras de la misma naturaleza. Este sistema se emplea, sobre todo en Bélgica, para pulimentar los baldosines; la figura 29 representa una de las máquinas establecidas para este objeto, cerca de Namur y de Dinant.

La pieza principal del mecanismo es una rueda horizontal dentada, *A*, de 6 metros de diámetro próximamente, que está unida por medio de brazos á un árbol vertical, *B*, que le sirve de eje. Al conjunto de la rueda y del árbol se le da rigidez con un número suficiente de tornapuntas inclinadas, *C*. La rueda engrana con una linterna, *D*, que recibe su movimiento de otra rueda dentada vertical, *E*, fija al árbol motor. En virtud de estas disposiciones, la rueda, *A*, puede girar á muy corta distancia de una área anular, *a*, perfectamente lisa, en que están sujetos los baldosines que se han de pulimentar; otros baldosines, *b*, de la misma especie, se apoyan en los brazos de la rueda y siguen su movimiento. Estos últimos conservan su posición, mediante unas varillas flexibles, *F*, que se apoyan, por un lado, en las piezas de madera que forman la armadura de la rueda, y por el otro, en los bordes interiores de las baldosas. Para aumentar el efecto del roce, que se verifica cuando la máquina está en marcha, se cargan los baldosines superiores con pesos, *G*, más ó menos considerables; se riega continuamente la superficie de los inferiores, empleando para este objeto un cubo, *I*, colocado sobre la rueda y que vierte el agua poco á poco por un grifo; y, por último, se espolvorean de cuando en cuando las superficies frotadas con arena silícea muy áspera.

Para baldosas de 0,^{m}50 de lado, la operación dura unas seis horas, y se prolonga tanto más cuanto mayores son las dimensiones.

MORTEROS Y HORMIGONES.

Conocidos ya los medios de extracción de las piedras, se pasará á tratar de las *mezclas* ó *morteros* que se emplean para unirlas. El elemento esencial de los morteros más usados, ó sea de las *argamasas*, es la *cal*. Se principiará, por consiguiente, por estudiar este importantísimo material.

CALES.

La *cal* se obtiene sometiendo á la acción del calor las calizas, piedras compuestas esencialmente de carbonato cálcico $\left.\begin{matrix} CO'' \\ Ca'' \end{matrix}\right\} O^2$, acompañado, por lo general, de magnesia, óxidos de hierro, arena, alúmina, substancias orgánicas, agua, etc. (1). De estos elementos, unos son inertes, otros perjudiciales; algunos, en fin, dan á la cal notabilísimas propiedades, que se estudiarán con detención.

El carbonato cálcico puro, privado por la acción del calor del anhidrido carbónico y del agua que contiene, produce un 56 por 100 de su peso de anhidrido cálcico ó *cal viva*, que, en contacto con el agua, se convierte en hidrato ó *cal apagada*.

Antes de dar á conocer las propiedades y clasificación de las cales, conviene exponer los métodos que se siguen para extraerlas de las calizas.

(1) En algunas localidades no se extrae la cal de las piedras calizas, sino de conchas de moluscos, compuestas casi exclusivamente de carbonato cálcico. Así se efectúa, por ejemplo, en las islas Filipinas.

CALCINACIÓN.

Generalidades.—La operación por la cual se convierten las calizas en cales, recibe el nombre de *calcinación* y consiste en someter las piedras á una elevada temperatura, la del calor rojo (1), á la que debe cuidarse de llegar con lentitud. Una temperatura uniforme, pero menor, no bastaría, por mucho que se prolongara, para la descomposición de la caliza, pues para un calor determinado se establece un estado de equilibrio entre la fuerza expansiva del gas carbónico y su afinidad con la cal. Si la temperatura fuera demasiado fuerte desde el principio, se correría el riesgo, sobre todo en los hornos discontinuos, de que se hendieran las piedras, reduciéndose á fragmentos que se opondrían á la marcha regular de la llama.

Si las calizas son bastante puras, es indiferente, desde el punto de vista de la calidad del producto, verificar su calcinación á una temperatura excesiva, pues la única desventaja que resulta es un gasto inútil de combustible; pero si las calizas son arcillosas, es de la mayor importancia que no se pase de la temperatura que la experiencia haya demostrado ser más á propósito, para que no se formen silicatos fusibles ni se vitrifiquen ciertos elementos.

(1) Se designarán las temperaturas por los colores, que son más fáciles de apreciar en las operaciones industriales que los grados á que corresponden. Sin embargo, se juzga oportuno estampar á continuación las equivalencias deducidas por Pouillet:

Colores.	Grados centígrados á que equivalen.
Rojo naciente	525
Idem obscuro	700
Cereza naciente	800
Cereza	900
Cereza claro	1.000
Anaranjado obscuro	1.100
Idem claro	1.200
Blanco	1.300
Idem brillante	1.500

Las piedras blandas y porosas se cuecen más fácilmente que las compactas, tanto porque el calor penetra pronto hasta el centro de los fragmentos, como porque los gases encuentran salida inmediata.

La caliza húmeda recién extraída de la cantera se reduce con mayor rapidez que la que está seca, porque el vapor de agua acelera el desprendimiento del anhidrido carbónico. Este hecho puede demostrarse experimentalmente: basta calentar caliza en un tubo colocado en un hornillo, de suerte que se puedan recoger en un extremo los productos gaseosos, é introducir por el otro, vapor de agua; se ve que calentando al rojo la piedra, no empieza á verificarse en seguida la descomposición, pero que ésta se manifiesta con un enérgico desprendimiento de gases, en el momento que se inyecta vapor de agua; el fenómeno se interrumpe cuando cesa la introducción de vapor y reaparece en el instante que se hace llegar de nuevo. El resultado de esta acción es un hidrato cálcico $\left.\begin{matrix}Ca''\\H^2\end{matrix}\right\} O^2$, descomponible á su vez por el calor: esta sustitución del anhidrido carbónico por el agua, parece que está en oposición con el hecho observado diariamente de que la cal apagada de los morteros absorbe anhidrido carbónico del aire y abandona agua; pero, en realidad, no hay contradicción de ninguna especie, porque el anhidrido carbónico no llega nunca á reemplazar en los morteros á la cantidad de agua que constituye el hidrato cálcico de proporciones definidas, y, en este concepto, existe una gran diferencia entre los carbonatos naturales y los regenerados en los morteros, que son hidrocarbonatos cálcicos. La influencia de la humedad es, en definitiva, tan favorable á la calcinación, que aunque sea necesario emplear un exceso de combustible para vaporizar el agua, se ha reconocido que resulta economía regando las piedras que se hayan extraído de la cantera con alguna anterioridad.

Es preciso que la calcinación se haga de una manera progresiva; un descenso brusco de temperatura hace después dificilísima, si no imposible, la separación del gas carbónico que quedaba. Por esta razón conviene evitar que existan muchas aberturas en los hornos de cal ó *caleras*, que pudieran dar paso á corrientes de aire.

La calcinación puede ser intermitente ó continua, subdividiéndose cada uno de estos sistemas en otros dos, según que el combustible

empleado esté ó no en contacto con la caliza. Hay, pues, que examinar los cuatro métodos siguientes:

Calcinación.	Intermitente. . . .	Por capas al aire libre.
		Con combustible de llama larga.
	Continua.	Con combustible de llama larga.
		Por capas.

Calcinación al aire libre.—Este método, considerado industrialmente, es el peor de todos para obtener una producción constante de cal; pero si se trata tan sólo de preparar la necesaria para una obra, que no esté en circunstancias excepcionales, es el más conveniente por la economía, facilidad y prontitud de la instalación. Se prepara una área circular bien plana y perfectamente seca; se excava en seguida en el centro un tronco de cono de unos $0^m,90$ de profundidad, cuya sección superior puede tener $2^m,50$ de radio y la inferior $0^m,32$. Del fondo de esta excavación arranca una zanja (figura 30), de unos $0^m,50$ de ancho en su punto de partida y de $0^m,40$ á $0^m,45$ en su intersección con el círculo exterior, que se prolonga de $0^m,60$ á un metro más allá de la excavación tronco-cónica, y que se cubre con losas, de modo que resulte una canal de $0^m,50$ de alto en su desembocadura y de $0^m,30$ en el fondo. Esta canal, que sirve para prender fuego, está construída de tal modo, que las losas que la cubren dejen entre sí bastantes intersticios para que se comunique la llama al combustible empleado.

En seguida se colocan, desde el fondo de la excavación, capas alternadas de hulla menuda ó carbón vegetal, y caliza; las primeras capas de caliza no tienen más de $0^m,12$ á 0,15 de espesor; pero éste aumenta gradualmente hasta unos 30 á 35 centímetros, con objeto de hacer más uniforme la calcinación, pues es evidente que las capas superiores estarán expuestas más tiempo á la acción del calor. Las capas de combustible, que tienen de $0^m,12$ á $0^m,15$ de espesor, están, á fin de conseguir este mismo objeto, compuestas de pedazos de carbón más gruesos y mejores en la parte inferior que en la superior.

Fórmase así un montón, que aparece por encima del suelo como un tronco de cono de $3^m,60$ á $3^m,80$ de altura, cuyas bases tienen respectivamente 5 y 4 metros de diámetro, y terminado por un casquete

esférico. Todas las dimensiones indicadas, son las de un montón de capacidad media, pudiendo aumentarlas ó disminuirlas según los casos.

Con objeto de impedir la pérdida de calor y para que el viento no produzca una calcinación irregular, se cubre todo el macizo con una capa de arcilla mezclada con paja menuda y arena, de $0^m,05$ á $0^m,06$ de espesor, sobre la cual se coloca á veces un revestimiento de piedras, de $0^m,30$ á $0^m,40$ de grueso; pero de todos modos, se refuerza la base con piedras ó tierras, que se dejan con su talud natural, *mn*, *pq*.

Concluído el montón, se introducen por la canal practicada en el fondo algunos haces de leña seca, brezo ó ramaje, á que se prende fuego; la llama se comunica á la capa inmediata de combustible; en cuanto ésta ha ardido bien, se rellena la canal con piedras, tapando su entrada con arcilla ó tierra. La caliza tarda cuatro ó cinco días en calcinarse; transcurrido este tiempo, se deja enfriar por completo el montón, que se deshace entonces para sacar la cal. Ésta sale mezclada con cenizas, pero como queda en terrones, es fácil separarla á mano.

La calcinación al aire libre puede efectuarse también con combustibles de llama larga, disponiendo una bóveda en la base del montón, de capacidad suficiente para que pueda desarrollarse la llama; encima se coloca la caliza, formando los paramentos de este horno *de campaña* con las piedras más gruesas, y enlodándolos con arcilla amasada con zarzos ó paja. Las caleras suelen ser de planta rectangular ó circular, y de ordinario se alimentan con ramaje, que se introduce, á medida que se necesita, en el hogar ó *caldera*.

Con frecuencia se hace un socavón en un ribazo, de suerte que el mismo terreno natural forme las paredes posterior y laterales del horno, y en la del frente, construída con piedras gruesas, se practica la boca del hogar.

El principal inconveniente de la calcinación al aire libre, es la repartición desigual del calor, pues mientras algunos fragmentos se recuecen; otros no se calcinan bastante, constituyendo lo que los albañiles denominan *huesos*. También se pierden grandes cantidades de calor, pero estas desventajas se compensan con la facilidad de establecer el montón y obtener así la cal al pie de obra.

Calcinación en hornos.—Generalidades.—En los demás sistemas de calcinación, ya intermitente, ya continua, la cochura de la caliza se efectúa en hornos construídos expresamente para ese fin. Los hornos, en general, se componen de tres partes principales: el *hogar*, el *vientre* y la *chimenea*.

El *hogar*, unas veces lateral, otras colocado en el centro del horno, está siempre en la parte inferior. Cuando el combustible empleado es leña, el hogar no tiene ninguna división, pero cuando se haya de quemar carbón, es preciso establecer dos compartimientos separados por una rejilla, sirviendo la parte inferior para cenicero. El *vientre*, que constituye la capacidad del horno propiamente dicho, es de forma muy variada; si tiene suficiente altura, como sucede casi siempre en los hornos destinados á la fabricación de cal, se puede prescindir de la *chimenea*, cuyo único objeto es establecer el tiro. En todos los casos debe cuidarse de dejar entrada al aire para alimentar la combustión.

Los hornos de cal se suelen hacer de fábrica, y se componen de un macizo exterior de ladrillos, sillarejo, mampostería ó cualquier otro material abundante en la localidad; en el interior, y dejando un hueco bastante considerable entre ambos macizos, se eleva la *camisa* ó pared interna, formada de ladrillos refractarios en cierta parte de su espesor, y de ladrillos ordinarios ú otra fábrica en el resto. Entre la camisa y el muro exterior se apisona arena, ceniza, arcilla ó cualquiera otra substancia mala conductora del calor, con lo que se consigue dar á las paredes suficiente grueso para que no haya grandes pérdidas de calórico por radiación, á la vez que se evita el empleo de un volumen considerable de fábrica.

Calcinación intermitente en hornos.—Los hornos de marcha intermitente son los más antiguos y sencillos; tienen, por lo general, la forma aovada que representa la figura 31, y presentan en su base una abertura lateral, por la que se introduce el combustible y se saca la cal cuando está cocida: la caliza se echa en el vientre por la boca ó *tragante* del horno. Para sostener la masa y para dejar libre el espacio necesario para el hogar, se empieza por escoger los fragmentos más gruesos de caliza y formar con ellos una bóveda, sobre la que se colocan las piedras, disponiendo las mayores en la parte inferior, para corregir, en lo posible, como en la calcinación al aire libre, las irregularidades de la cochura. La bóveda suele apoyarse en un retallo anular practicado en el macizo del horno, como indica el dibujo; sin embargo, á veces descansa en machones formados también con grandes piedras calizas.

Se enciende en el hogar el combustible, que ordinariamente es leña ó turba; la llama se eleva y penetra á través de la masa; se hace subir poco á poco la temperatura hasta el rojo, y la transformación de la caliza en cal se efectúa con un abundante desprendimiento de gas y de vapor. Terminada la cochura, se deja apagar el fuego; se sacan los fragmentos de cal y se reemplazan con otros de caliza. Entre las dos hornadas media cierto intervalo, no pudiendo utilizar el calor mientras el macizo se enfría.

Se reconoce que ha terminado la calcinación en que se produce un asiento en la masa, que, en general, varía de $\frac{1}{5}$ á $\frac{1}{6}$; en que la llama sale casi sin humo, y en que la piedra toma el aspecto que debe tener después de calcinada y que la práctica enseña en cada caso. Si hay alguna duda, todo se reduce á ver si los ácidos producen ó no efervescencia en fragmentos sacados de la parte superior del horno. Según Vicat, el tiempo que exige la calcinación varía, para un horno de 60 á 75 metros cúbicos de cabida, de 100 á 150 horas; los elementos que más influyen en la duración, son la naturaleza del combustible, el estado de la caliza y las condiciones atmosféricas.

En cuanto al consumo de combustible es en extremo variable. Afirma Vicat que en la calcinación intermitente con llama y empleando combustibles vegetales, oscila el gasto entre límites muy distantes, y que depende sobre todo de la naturaleza de aquellos, pudiendo admitirse, como términos medios, que un metro cúbico de cal exige $1^{m^3},66$ de buena leña de encina, 22 metros cúbicos de haces ordinarios y 50 de brezo ó retama, medidos en grandes pilas y sin comprimir.

Calcinación continua con llama.—La figura 32 representa un horno para la calcinación continua con llama; está formado por un doble cono de 10 metros de altura, y tiene un hogar lateral, *F*, del que sale la llama, penetrando en la masa por tres conductos situados en un mismo plano horizontal, á 2 metros de la base. Después de cargado el horno, se enciende en el centro un fuego de leña, del

mismo modo que se explicó al describir los hornos intermitentes, con objeto de poner al calor rojo las piedras que están por debajo de los conductos; se enciende entonces el hogar lateral, en el que se quema leña ó hulla de llama larga, y prosigue la calcinación, sin que se necesite conservar el fuego central. Cada doce horas se saca por la abertura *G* cierta cantidad de cal, y se reemplaza con otras piedras que se echan por el tragante. La calcinación marcha, por tanto, con continuidad.

La figura 33 da á conocer otro horno de fabricación continua. La caliza se apoya en una bóveda de fábrica, que deja aberturas para el paso de la llama del hogar, que está situado debajo: una puerta lateral que termina á la altura del arranque de la bóveda, permite sacar la cal, que se reemplaza en la parte superior con caliza. Esta disposición tiene, respecto de la anterior, la ventaja de no exigir más que un hogar, pero ninguna de las dos puede emplearse si no se dispone de un combustible de llama larga, como leña, brezo ó hulla seca. Se ha ensayado en algunas ocasiones el empleo del carbón de piedra de llama corta, pero los resultados han sido detestables, porque los fragmentos próximos al hogar se calcinaban demasiado, mientras que quedaban sin cocer los situados á alguna distancia.

Se comprende desde luego que, á igualdad de las demás condiciones, este método de calcinación ha de ser más económico en combustible que el intermitente, pues que se reducen notablemente las pérdidas de calórico, pero las cantidades de leña ó de hulla varían tanto de unas fábricas á otras, que nada enseñaría consignar algunos guarismos.

Calcinación continua por capas.—En el horno, que tiene de ordinario un perfil parecido al de la figura 32, se colocan capas alternadas de caliza y de hulla de llama corta; toda la masa descansa en la parrilla del cenicero. Se prende fuego á la capa inferior de carbón, que descompone á la caliza que está en contacto con ella; la segunda capa de combustible se inflama á su vez, y así se propaga sucesivamente la acción del calor. Las cenizas del combustible atraviesan la rejilla y se sacan por una abertura especial; al paso que por otra se extrae la cal viva, reemplazándola con nuevos fragmentos de caliza, que se introducen por la boca del horno.

Las dimensiones de los hornos y los espesores de las capas, tanto de caliza, como de carbón, dependen, no sólo de la naturaleza de las materias, sino de multitud de circunstancias. La observación que debe tenerse presente en la calcinación continua, ya sea con llama ó por capas, es que conviene, para que los productos sean uniformes, reducir las calizas á fragmentos pequeños, del mismo tamaño.

El volumen de hulla ó antracita que se consume para fabricar un metro cúbico de cal, cuando se efectúa la calcinación por capas y con continuidad, varía con la dureza de la piedra, pero entre límites poco distantes. Según Vicat, se puede graduar que, por término medio, se gasta $^1/_5$ de metro cúbico, ó sean unos 5 hectolitros de carbón, por metro cúbico de cal.

Muchos inconvenientes ha habido que salvar para obtener buenas cales por el método que se reseña. El mismo Vicat los indicaba en la notable obra que publicó en 1828, y que aún puede consultarse con fruto para el estudio de los morteros y de sus elementos constitutivos. «Un sencillo cambio en la dirección ó intensidad del viento, decía aquel ilustre Ingeniero, algunas degradaciones en la pared interior del horno, demasiada desigualdad en el tamaño de los fragmentos, son otras tantas causas que retardan ó aceleran el tiro, producen movimientos irregulares en el descenso de los materiales, determinándose precipitación de carbón ó de piedra en un mismo punto, y resultando exceso ó falta de cochura. Á veces un horno funciona perfectamente muchas semanas, y de repente se altera su marcha sin que se pueda advertir la causa; la más pequeña variación en la calidad del carbón basta para confundir al operario más avezado: en una palabra, la cochura continua con hulla, es cuestión de tanteos y de práctica.» Una larga experiencia ha logrado vencer estas dificultades tan gráficamente indicadas, y en el día son muchísimas las fábricas que dan productos excelentes, habiendo llegado á este resultado, perfeccionando más y más la forma de los hornos y la manera de dirigir la operación.

Lo que precede basta para tener una idea exacta de los procedimientos que se siguen para calcinar en hornos las calizas. Se harán ahora algunas consideraciones para deducir la forma teórica que deben tener las caleras, según los casos.

Formas teóricas de los hornos.—Las paredes interiores de los hornos han de ser siempre superficies de revolución, porque en éstas

las secciones transversales son círculos, y presentan, por tanto, el mínimo perímetro para una área determinada, de suerte que se disminuyen, en lo posible, las pérdidas de calor por radiación. El eje debe ser vertical: en un horno de eje inclinado, que comunicase con una chimenea alta, se podría obtener un tiro enérgico; pero la caliza es poco resistente, sería imposible evitar asientos y la corriente calorífera tendría una marcha irregular.

En cuanto á la altura de los hornos, pudiera creerse que sería oportuno admitir la suficiente para que los gases saliesen fríos, pues así se utilizaría por completo el calor; pero no es asi, porque el único resultado que se obtendría en las capas de caliza colocadas por encima de la en que comience la calcinación, sería secar la piedra, que ya se ha visto es perjudicial, y que obligaría á aumentar la temperatura. La altura de los hornos debe limitarse, por consiguiente, á la en que se halle la última capa calcinada, cuando el hogar dé el máximo calor compatible con la buena cochura de la cal. De aquí se deduce que la altura habrá de ser, por lo general, tanto menor cuanto menos elevada sea la temperatura necesaria, esto es, cuantas más impurezas contenga la caliza.

Para estudiar las demás condiciones á que debe satisfacer la forma de los hornos, se examinarán sucesivamente los que tienen hogar y los que se destinan á la calcinación continua por capas.

Hornos con hogar.—Lo primero que hay que determinar es la meridiana de la superficie que constituye el paramento interior del horno. Es evidente que si se quiere aprovechar la mayor cantidad de calor posible, y al mismo tiempo someter todos los trozos de caliza á su acción, las meridianas habrán de coincidir con las trayectorias que siguen los productos gaseosos de la combustión á lo largo de la pared, desde el hogar á la boca del horno. Á medida que los gases se alejan del hogar, se enfrían, y como están sometidos á una presión constante, la de la atmósfera, se contraen, de modo que, si el horno fuera cilíndrico, no podrían salir á boca llena los gases, á menos que disminuyera su velocidad; pero ésta es uniforme, puesto que el movimiento de cada capa está ligado con el de las demás, y en cuanto una avanza, pasa inmediatamente otra á ocupar su sitio. La corriente gaseosa se contrae, por tanto, hacia el eje del horno, verificándose de un modo muy irregular la calcinación en los

espacios próximos á las paredes, en los hornos cilíndricos ó prismáticos, y quedando muchos fragmentos sin calcinar. Este inconveniente, que tratándose de cales grasas podría remediarse por una elevación de temperatura, que representaría, en definitiva, un aumento de gasto, no es factible evitarlo en la preparación de cales hidráulicas, si no se adopta para el horno una meridiana de inclinación variable respecto del eje. Deberá ser, pues, la meridiana una curva que, arrancando normalmente á la sección del horno por encima del hogar, se vaya aproximando al eje á medida que se contraen los gases por el descenso de temperatura, y como á la salida se encuentran en un medio mucho más frío y la contracción es muy rápida, el elemento de la meridiana habrá de presentar una inclinación acentuada cuando llegue á la boca del horno. Las dimensiones de esta última deben determinarse prudencialmente, teniendo en cuenta que no ha de ser demasiado pequeña, porque entonces no bastaría para dar salida á la masa de aire que entra por el hogar con la máxima velocidad que puede tomar; la corriente se quebraría, menguaría la velocidad, y por consiguiente, el tiro sería menos activo. El estrechamiento del tragante tiene además el inconveniente de corresponder á una diminución en el volumen del horno. Tampoco se puede fijar *a priori* la inclinación del último elemento de la meridiana, que depende de la temperatura del ambiente, de las condiciones del combustible, etc., etc.; el arco de círculo es una de las infinitas curvas que pueden trazarse de modo que, arrancando normalmente al paralelo del hogar, presente en la boca del horno la inclinación que se desee (fig. 54).

Hornos en que se efectúa la calcinación continua por capas.—Repartiéndose en estos hornos con más igualdad la temperatura, no serían tan grandes, como en el caso anterior, los inconvenientes que presentarían las formas cilíndrica ó prismática. Sin embargo, hay que tener en cuenta dos condiciones á que deben satisfacer. Supóngase que desde una cierta altura AB (fig. 55), hacia arriba, estén sin arder las capas de combustible, quemándose únicamente las situadas por debajo; como á medida que arde el carbón disminuye su volumen, es preciso, para que la masa conserve la compacidad suficiente y no se produzcan asientos bruscos, que vaya disminuyendo desde AB hacia abajo la sección del horno. Por otra parte, como los gases pro-

venientes de la combustión se contraen á medida que se elevan, será forzoso, si se ha de obtener una marcha regular en la calcinación, que la meridiana del horno se vaya acercando al eje, desde *AB* hacia arriba. Para atender á estos dos requisitos, se suele adoptar para forma del horno la de dos troncos de cono unidos por su base mayor (fig. 56); la altura del inferior queda determinada teóricamente por el nivel á que se encuentra la primera capa encendida de combustible; el segundo debe terminar en el paralelo en que la temperatura sea inferior á la necesaria para la calcinación. En cuanto á la inclinación, debe ser mayor la del tronco inferior que la del superior, pues el volúmen de la masa contenida en aquel, disminuye rápidamente, mientras que los gases en un horno de esta clase se enfrían con lentitud.

Dificultades que presenta la calcinación.—Entre las varias dificultades que presenta la calcinación, se mencionarán dos: la primera, que se manifiesta sobre todo en los hornos intermitentes y que se ha indicado ya en renglones anteriores, es la de repartirse desigualmente el calor; la segunda consiste en el difícil aprovechamiento de los gases que se escapan por la boca.

Para aminorar la primera, ideó Vicat un horno que tiene la forma de un cono invertido, y en cuya base están dispuestos tres hogares laterales (fig. 57), cubierto cada uno por su bóveda, y que se encienden sucesivamente durante la tercera parte del tiempo invertido en la calcinación. De ese modo, la base no está sometida á un calor elevado en todos sus puntos, mientras que la parte superior recibe continuamente la influencia de la corriente gaseosa. También se ha construido por Chanard un horno para la calcinación continua con llama, en que el hogar es anular, y regulariza, por tanto, la cochura: este horno produce 10 metros cúbicos de cal por día.

Para aprovechar los gases calientes se han imaginado hornos dobles, análogos al que se representa en la figura 58. Se dispone un hogar lateral, de suerte que la llama pase al compartimiento superior, por encima de la rejilla ó bóveda acanalada, *B*, en que se apoya la caliza; este hogar no se enciende hasta el momento en que es preciso apagar el del horno inferior para que no se vitrifique la cal. Con objeto de utilizar el calor del primer horno, se hace que el segundo reciba el aire por el conducto *C*, á través de toda la masa caliente de aquel;

por este medio se logra que la llama del segundo hogar adquiera un incremento considerable de temperatura. La economía de combustible viene á ser de 20 por 100; esta disposición se puede aplicar con gran ventaja para fabricar á la vez cal y ladrillos, porque entonces se cuecen éstos en el compartimiento de arriba, en que el calor es más fuerte. Conviene observar que la meridiana del horno inferior termina en un elemento que no está inclinado con relación al eje, sino que es normal al plano que separa los dos compartimientos, como debe suceder, porque los gases al pasar del horno inferior al superior no se enfrían.

Coste de un metro cúbico de cal.—Para calcular el precio de un metro cúbico de cal, hay que presuponer el coste de los materiales y la fabricación. Los elementos que habrá que considerar, suponiendo que se emplee la calcinación continua por capas, serán los siguientes: importe al pie de obra de $1^{m^3},25$ de caliza; precio de 5 hectólitros de hulla; jornales que se paguen por machaqueo de la piedra, carga y descarga del horno, vigilancia de la cochura, separación de huesos, etc.; amortización del capital de construcción; conservación del horno y extracción de detritos; y, por último, 10 por 100, que convendrá añadir siempre para imprevistos y pérdidas.

Estos gastos, unidos á los de transporte, hacen variar mucho el precio de la cal de una localidad á otra. Este material suele venderse por peso; para la reducción de metros cúbicos á kilogramos, hay que conocer la densidad, que varía de 0,80 á 0,90 en la cal viva.

CLASIFICACIÓN DE LAS CALES.

Se expondrá la clasificación de cales debida á Vicat, que, aunque tiene algunas imperfecciones, es la universalmente admitida, y no se ve razón para sustituirla por otra, por más que sean recomendables los trabajos hechos sobre esta cuestión en época muy reciente, por el ilustrado Ingeniero de Puentes y Calzadas, D. L. Durand-Claye.

Se dividirán las cales en los cinco grupos siguientes:

1.° *Cales grasas.*
2.° *Cales áridas.*
3.° *Cales hidráulicas.*

4.° *Cales límites, cementos de fraguado lento ó cementos de Portland.*

5.° *Cementos romanos, de Parker ó de fraguado rápido.*

Cales grasas ó crasas.—Las cales *grasas* reciben este nombre, porque producen, con el concurso de una cantidad suficiente de agua, una pasta fina, trabada, untuosa y que aumenta mucho de volumen; esta pasta permanece indefinidamente blanda en parajes húmedos, fuera del contacto del aire; en el agua se disuelve poco á poco y acaba por desaparecer. Los caracteres anteriores muestran desde luego que estas cales serán útiles en la construcción, cuando se empleen en sitios secos ó poco húmedos, pero que en manera alguna podrán usarse en obras hidráulicas.

Apagando las cales grasas por el método de fusión, que más adelante se explicará, experimentan un *entumecimiento* ó *hinchazón,* que varía de 1,5 á 2,5 veces el volumen de la cal viva. Las cales son tanto más grasas cuanto más pura es la caliza de que proceden. Pronto se verá que la arcilla parece ser la substancia que comunica la hidraulicidad á las cales, es decir, que les da la importante propiedad de endurecerse bajo el agua; la mayor parte de las cales grasas contienen, sin embargo, los elementos de aquella sal, y es, en realidad, algo arbitraria la fijación del punto en que concluyen las cales grasas y comienzan las hidráulicas. Se admitirá el guarismo adoptado por Vicat, que considera que las cales hidráulicas provienen de la calcinación de calizas, que encierran por lo menos 12 por 100 de arcilla. En definitiva, las calizas que dan por la cochura cales grasas son aquellas que, teniendo pocas impurezas, encierran menos de 12 por 100 de arcilla.

Cales áridas.—Tratadas por el agua las cales *áridas,* se resuelven en una pasta poco trabada, que se entumece menos y no tiene la untuosidad de la de cal grasa. Al secarse las cales áridas en contacto del aire, se desagregan y se reducen á polvo; el agua las disuelve en parte, y en parte las deslíe; por consiguiente, no deben emplearse en las construcciones.

Las cales áridas provienen de la calcinación de calizas, que, encerrando también menos de 12 por 100 de arcilla, contienen cantidades considerables de arena más ó menos fina, óxidos y silicatos de hierro, magnesia ú otras substancias. No hay para qué decir que

tampoco resultan bien marcadas la diferencias entre las cales grasas y las áridas, pues en ambas se encuentran materias extrañas y no hay posibilidad de fijar la cantidad ni calidad de éstas que corresponden al límite; no hay más remedio que recurrir á experimentos en caso de duda.

Cales hidráulicas.—Las cales *hidráulicas* se llaman así, porque la pasta que resulta de su apagamiento goza de la propiedad de endurecerse en el agua, así como en los lugares húmedos, estén ó no privados de aire, al contrario de lo que sucede con las cales grasas y áridas. Estas notables cualidades, de que tan frecuente uso se hace en la construcción, se deben, según parece, á la arcilla, cuando se encuentra mezclada con el carbonato cálcico en la caliza, en proporciones variables de 12 á 20 por 100. Las pastas que forman las cales hidráulicas no son nunca tan finas ni se entumecen tanto como las de cales grasas. La energía ó grado de hidraulicidad de las cales se mide, en general, por la relación que existe entre las cantidades en peso de arcilla y de cal cáustica, CaO, que encierran, número abstracto, que se conoce con el nombre de *índice de hidraulicidad.* Las cales hidráulicas se subdividen en *eminente, mediana* y *débilmente hidráulicas,* según que sus índices estén comprendidos entre 0,36 y 0,40, entre 0,30 y 0,36 ó entre 0,24 y 0,30; guarismos que corresponden respectivamente á dosis de arcilla de 17 á 20, ó de 15 á 17, ó de 12 á 15 por 100, en las calizas arcillosas, de que provienen las cales (1).

La clasificación precedente supone la intervención de una arcilla casi pura y que se acerque en su composición media á la del bisilica-

(1) Las correspondencias indicadas por Vicat no son exactas, aun suponiendo que las calizas se compusieran sólo de carbonato cálcico y arcilla. El tanto por ciento de esta substancia, equivalente á un índice de hidraulicidad m, se obtendría por la expresión $\frac{1400\,m}{14\,m + 25}$, que se deduce con facilidad. Los tantos por ciento que resultan sustituyendo en aquel quebrado en vez de m los valores de los índices límites, no coinciden con los señalados en el texto. Por otra parte, se comprende bien que para tomar como base de la clasificación la composición de la caliza, es preciso prescindir de todos los elementos que no sean carbonato cálcico ó arcilla; parece más natural recurrir al índice de hidraulicidad, que es la relación de dos números que se obtienen inmediatamente en la análisis química.

to (64 partes de sílice por 56 de alúmina), pero no sucede siempre así, pues las dosis de dichos cuerpos varían entre límites bastante extensos. Además, como no siempre se puede hacer la análisis química, en la práctica conviene recurrir á propiedades, que se comprueben con facilidad, y que sirvan para distinguir unas de otras las cales hidráulicas. Para conseguirlo, se observa el tiempo que tardan en endurecerse ó *fraguar* debajo del agua, admitiéndose que se mida la cohesión que constituye el fraguado, por medio de una aguja de hacer media, de $1^{mm},2$ de diámetro, limada en uno de sus extremos en el sentido de la sección recta, y cargada en el otro con un peso de 50 decágramos, lo que representa una presión, por centímetro cuadrado, de $26^{kg.},5$: cuando la pasta de cal puede sostener la aguja sin deprimirse aparentemente, se dice que ha fraguado.

Partiendo de este supuesto, para ensayar una cal se empieza por apagarla, formando una pasta de regular consistencia, y se coloca después en una vasija cualquiera con agua potable. La cal será *eminentemente hidráulica* cuando la pasta sumergida, como se ha indicado, fragüe del segundo al sexto día, según la estación, pues la temperatura del agua ejerce una influencia muy marcada; cuando al cabo de un mes esté dura y sea insoluble en la superficie, y, por último, cuando transcurrido medio año se rompa en pedazos por el choque, sin reducirse á polvo. Las cales *medianamente hidráulicas*, fraguan del sexto al noveno día, y al cabo de cuatro ó cinco meses su consistencia es comparable á la de una buena pasta cerámica seca, antes de cocerla, no abandonando ya cal su superficie al baño de inmersión. Por último, las cales *débilmente hidráulicas* fraguan del noveno al décimoquinto día; su consistencia no es mayor, después de seis meses, que la del jabón seco, y transcurrido ese periodo aún es algo soluble la película exterior.

La insolubilidad superficial, no prueba que en el interior de las pastas que forman las mejores cales hidráulicas, no se encuentre cal soluble; por el contrario, puede asegurarse que á cierta distancia de la superficie, las pastas convierten en agua de cal á la destilada, aun al cabo de muchos años. El grado de insolubilidad de las pastas en el agua podría servir, dice Vicat, para apreciar la estabilidad química de las cales hidráulicas y para medir su energía, por un método distinto del fundado en los caracteres físicos de su endurecimiento: bastaría recoger la cal disuelta en baños de agua destilada, que se renovaría hasta que no la enturbiase el oxalato amónico. La totalidad de cal disuelta, dividida por la superficie mojada, expresada en centímetros cuadrados, daría el grado de solubilidad, referido á aquella unidad, de las cales que hubiesen de compararse. Es claro que la cal hidráulica sería tanto más enérgica cuanto más pequeño fuere el número así determinado.

Cales límites.—Cuando la cantidad de arcilla contenida en una caliza está comprendida entre 20 y 25 por 100, se obtienen por la calcinación productos variables, con los que Vicat formó el grupo de las *cales límites* ó de los *límites de las cales*, que hoy se llaman con preferencia, cuando se preparan como luego se dirá, *cementos* ó *cimentos de fraguado lento* ó *cementos de Portland*, debiendo considerarse este último nombre como genérico (1).

Cuando las cales límites se han obtenido calcinando las calizas á la temperatura suficiente para que se desprenda el anhidrido carbónico, son muy difíciles de apagar; algunos fragmentos no se apagan sino mucho tiempo después de haberse empleado en obra, ocasionando entonces la desunión de las fábricas y reduciéndose á polvo los morteros. Si terminada la cocción se trituran y se baten con mucha agua, se consigue un apagamiento completo, pero los morteros, que fraguan con rapidez, no tienen solidez permanente y no tardan en formar lechadas. Por tanto, las cales límites, fabricadas como las ordinarias, deben proscribirse severamente de las construcciones.

Pero cuando la cochura de las calizas correspondientes se efectúa á una temperatura bastante elevada para que haya principios de vitrificación, las cales límites trituradas y batidas no se apagan (de igual suerte que los cementos romanos), y constituyen productos eminentemente hidráulicos, que fraguan en un espacio de tiempo variable desde media hora á diez y ocho horas. Las cales así obtenidas, á las que llamó Vicat *cales quemadas*, son los cementos de fraguado lento ó de Portland, que tienen una composición algo diferente, según sus procedencias, y de cuya fabricación se hablará más adelante.

(1) Reciben estos cementos el nombre de Portland, porque los primeros que se fabricaron en Inglaterra tenían, después de fraguar, un color y aspecto parecidos á los de la sillería de aquella procedencia.

Los fenómenos que al tratarlas por el agua se observan en esta clase de cales, justifica la denominación de *límites*, que les dió Vicat. Proviniendo de calizas que contienen de 20 á 25 por 100 de arcilla, puede decirse que su índice de hidraulicidad oscila entre 0,40 y 0,60.

Cementos romanos, de Parker, ó de fraguado rápido (1).—Las calizas que contienen de 25 á 40 por 100 de arcilla, dan por la calcinación los *cementos romanos ó de fraguado rápido*, que mezclados con agua no se combinan con ella ni se reducen á polvo, es decir, no se apagan, pero que contienen todos los elementos necesarios para endurecerse casi instantáneamente cuando se baten *vivos*, esto es, al salir del horno; el endurecimiento se retarda algún tanto cuando los cementos están *fríos*, por haber permanecido envasados cierto tiempo, mas, por lo general, no tardan en fraguar arriba de un cuarto de hora á una hora.

Las cualidades de los cementos varían mucho con la composición de la arcilla que contienen y con el grado de cochura: éste se determina experimentalmente en cada caso, para obtener productos de la mejor calidad posible; debiendo advertir que la temperatura más á propósito no es la necesaria para desalojar todo el anhidrido carbónico, sino la que se requiere para hacer atacables hasta el máximo los elementos de la arcilla, así es que hay cementos que contienen proporciones relativamente crecidas de carbonato cálcico sin descomponer.

El índice de hidraulicidad varía de 0,60 á 1,20; pero estos números no tienen ya la misma significación que en las cales hidráulicas, porque, según se acaba de ver, la rapidez del fraguado de los cementos depende, en gran parte, de circunstancias distintas que el de aquellas. Algunos autores dividen los cementos romanos en *cementos límites inferiores, ordinarios* y *límites superiores*, conforme la menor ó mayor rapidez con que se verifica el endurecimiento, pero es una

(1) Reciben estos cementos el nombre de *romanos*, por la preocupación muy extendida de que los antiguos usaban en las construcciones morteros especiales y de gran solidez. En Inglaterra se llaman cementos *de Parker*, del nombre del inventor, que por primera vez los fabricó en Londres en 1696.

clasificación completamente arbitraria y que no presenta utilidad en la práctica. Lo único que puede asegurarse es que los cementos que fraguan casi instantáneamente, aun después de enfriados, y que de ordinario proceden de calizas muy arcillosas (35 á 40 por 100 de silicato de aluminio) son de dificilísima aplicación y dan resultados medianos.

Cuando se trata á los cementos de fraguado rápido, como á las cales límites que se quiere transformar en Portland, es decir, cuando se someten á una vitrificación parcial, adquieren propiedades análogas á las de los cementos de fraguado lento.

Las calizas que encierran más de 40 por 100 de arcilla, no dan por la calcinación productos que contengan los elementos suficientes para endurecer los morteros, pero en muchos casos se obtienen de este modo verdaderas *puzolanas artificiales*, que habrán de estudiarse más adelante. Como quiera que en las puzolanas, la cal no es un componente indispensable, no es lógico insistir sobre el particular en este sitio.

Resumen de la clasificación de las cales.—En el cuadro siguiente se resume cuanto se ha dicho en los renglones anteriores sobre los índices de hidraulicidad de las diferentes clases de cales y cementos, y sobre las proporciones de arcilla que entran en las calizas de que proceden.

DESIGNACIÓN DE LAS CALES Y CEMENTOS.	Índices de hidraulicidad.	Cantidad de arcilla que entra en un peso 100 de las calizas de que provienen las cales ó cementos.
Cales grasas y áridas................	»	menos de 12
Cales débilmente hidráulicas.........	0,24 á 0,30	12 á 15
Cales medianamente id............	0,30 á 0,36	15 á 17
Cales eminentemente id..............	0,36 á 0,40	17 á 20
Cementos de fraguado lento..........	0,40 á 0,60	20 á 25
Idem de id. rápido.................	0,60 á 1,20	25 á 40

EXPLICACIÓN DEL ENDURECIMIENTO DE LAS PASTAS DE CAL.

Señalados los fenómenos que corresponden á cada uno de los grupos en que se han dividido las cales, es natural que se entre en al-

gunas explicaciones respecto á las causas que producen el endurecimiento, en determinadas circunstancias, de las pastas de cales grasas é hidráulicas y de los cementos. Asunto complejo es el que se va á examinar y en el que no hay perfecto acuerdo entre los hombres de ciencia, pero se darán á conocer las hipótesis más admitidas, empezando por estudiar la influencia que se atribuye en la calidad de las cales á las substancias que suelen contener las calizas de que proceden.

Influencia de las substancias extrañas.—En casi todas las calizas se encuentran sílice, alúmina, óxidos de hierro y de manganeso y magnesia; á veces también ácidos sulfúrico y fosfórico, materias bituminosas ó carburadas, restos orgánicos y agua. Además, las cales suelen contener cenizas provenientes del combustible empleado en la cochura de las calizas.

Influencia de las substancias volátiles.—El agua, los restos orgánicos, las materias bituminosas y, en general, todas las volátiles, no pueden ejercer acción alguna, porque desaparecen en la calcinación y, por consiguiente, no se hallan en las cales. Sin embargo, éstas encierran casi siempre algo de anhidrido carbónico, ya por no haberse desprendido por completo de las calizas, ya por haberlo absorbido del aire; de la atmósfera procede asimismo el agua que á veces contienen. Las cales en que se encuentran dosis algo considerables de gas carbónico, se dice que están *aireadas,* circunstancia que, por lo común, disminuye la energía de sus propiedades.

Influencia de la sílice.—La *sílice* desempeña un papel importantísimo. Todas las cales hidráulicas encierran sílice, y á ella debe atribuirse, en primer término, el endurecimiento de aquellas, según resulta de los experimentos directos de Vicat y de Berthier. Al hablar de la sílice, debe entenderse de la que es susceptible de combinarse con las bases enérgicas como la cal, es decir, de la gelatinosa, de la hidratada, que se obtiene por la acción de los ácidos enérgicos sobre los silicatos, y muy principalmente de la que combinada con la alúmina en las calizas ó diseminada en forma de polvo impalpable en la masa, se transforma por la cocción en sílice químicamente atacable por la cal. El anhidrido silícico no manifiesta ninguna energía cuando está agregado en forma de arena ó granos cuarzosos, aunque éstos se reduzcan mecánicamente á polvo: en tal caso la sílice contribuye sólo á hacer áridas las cales.

Influencia de la alúmina.—La acción de la *alúmina* no es tan clara. Es un hecho indiscutible que hay cales hidráulicas excelentes, como las de Theil y de Senonches, en que apenas entra aquel cuerpo; de algunos experimentos que se han practicado resulta que con la alúmina sola, gelatinosa ó calcinada, no se ha conseguido hacer fraguar bajo el agua á las cales grasas, si bien parece que Frémy ha logrado, en época reciente, preparar aluminatos de calcio, que después de molerlos, batirlos y sumergirlos en el agua, se han endurecido con rapidez. Se presenta, por consiguiente, la duda, que no se puede aclarar en el estado actual de la ciencia, de si la alúmina por sí sola, ó por mejor decir, en presencia de la cal cáustica, puede determinar el endurecimiento de la pasta debajo del agua.

Lo que parece fuera de discusión es que cuando la alúmina acompaña á la sílice, se exaltan los caracteres hidráulicos de las cales y que su energía crece, no sólo con la proporción de sílice, sino con la de alúmina que contienen. Sin embargo, se cree, aunque no está suficientemente comprobado, que la proporción de alúmina no debe pasar de cierto límite, que Vicat fija en la que corresponde al bisilicato (64 de sílice por 56 de alúmina), para que contribuya á la hidraulicidad de las cales; el exceso, si lo hubiere, tendería á hacer árido el producto. Es muy raro que en la práctica se alcance ese límite; así es que, por lo general, se determinan por separado las dosis de ambos cuerpos, y á su suma se da la denominación, algo impropia, de *arcilla.*

Influencia de los óxidos de hierro y de manganeso.—Los *óxidos de hierro* parece que no tienen influencia en la hidraulicidad de las cales, ya se considere el ferroso ó el férrico, y ya estén agregados ó en estado de gelatina. Lo mismo debe decirse de los *óxidos de manganeso,* por más que cuando se empezó á estudiar científicamente la hidraulicidad de las cales, creyeran Bergman y Guyton que la presencia de aquellos óxidos era esencial para el fraguado de las pastas debajo del agua.

En definitiva, los óxidos de hierro y de manganeso es de creer que sólo sirven para aridecer las cales.

Influencia de la magnesia.—La *magnesia* es quizá el cuerpo, cuya influencia en la calidad de las cales se ha debatido más, sin que hasta hoy se pueda precisar nada de un modo riguroso. Por esta

razón no se hará más que indicar las opiniones sustentadas. De los experimentos de Berthier resultaba que la magnesia podía reemplazar ventajosamente en las cales hidráulicas á la alúmina, obrando de un modo semejante al de ésta; pero unos ensayos de laboratorio no bastan para demostrarlo, y hasta podría suceder que el fraguado de las mezclas se hubiera verificado sin intervención de aquella base.

En 1856, Vicat manifestó que se había equivocado al atribuir importancia secundaria á la magnesia, y que este cuerpo solo, si se hallaba en proporciones convenientes, hacía hidráulicas las cales. Experimentos posteriores de Sainte-Claire-Deville han demostrado que podrán ser ciertas las observaciones de Vicat, en circunstancias especialísimas de cochura (entre otras la de hacerse la calcinación á una temperatura de 300 á 400°), que no se realizan en la fabricación industrial; pero que, por lo general, la magnesia es inerte, si no contribuye á aridecer las cales.

Este modo de ver la cuestión, parece hoy día el más acertado. Muchos autores hablan de las cales *magnesianas*, como de excelentes cales hidráulicas, que se obtienen por la calcinación de las *dolomías* (mezcla de carbonatos cálcico y magnésico), cuando están compuestas de 65 á 66 partes de carbonato de calcio, 20 á 25 de carbonato de magnesio y 10 á 14 de arcilla. No parece probable, en virtud de lo que antecede, que sus buenas propiedades deban atribuirse á la magnesia; lo correcto parece que sería decir que las dolomías arcillosas pueden dar buenas cales, *á pesar de la magnesia*, cuando en su composición no éntre el carbonato magnésico, en dosis superiores al 25 por 100.

La magnesia que resulta de la cochura del carbonato neutro de magnesio, tiene cierta analogía en sus propiedades con la cal grasa.

Influencia del ácido sulfúrico y de los sulfuros.—Algunas calizas contienen *ácido sulfúrico*, en estado de sulfato cálcico, ó *sulfuros*, que suelen ser piritas de hierro. Durante la calcinación, los sulfuros pueden convertirse en sulfatos cuando la llama sea oxidante, ó al contrario, los sulfatos pueden transformarse en sulfuros, cuando la acción sea reductora. En general, las oxidaciones y reducciones son incompletas, resultando una mezcla de sulfatos y sulfuros.

El sulfato cálcico ejerce una acción perjudicial en las cales, tanto porque aumenta de volumen al fraguar y desagrega las pastas, cuanto por su solubilidad, que dificulta el empleo de las cales á que va unido, en obras hidráulicas sometidas á la corriente de las aguas. Conviene rechazar las cales que contengan más de 5 por 100 de sulfato de calcio.

Cuando el azufre se encuentra en estado de sulfuro, se cree que aumenta la propiedad hidráulica de las cales. La mayor parte de los cementos encierran algo de sulfuro cálcico, y Mangon ha tratado de demostrar experimentalmente su influencia favorable. Se han hecho algunos ensayos industriales para utilizarla, pero, hasta ahora, no han dado resultados prácticos.

Influencia del ácido fosfórico.—Se hallan indicios de *ácido fosfórico* en la mayoría de las calizas, y los cementos de Portland suelen contenerlo en dosis de cerca de una milésima. No se ha estudiado la influencia que puede ejercer el ácido fosfórico en el fraguado de las cales, aunque es probable que se reduzca á neutralizar y hacer inerte un peso de cal algo superior al suyo.

Las calizas ricas en ácido fosfórico, tienen gran importancia en la agricultura y no se usan para obtener cal.

Influencia de los álcalis fijos.—En muchas cales, y sobre todo en los cementos, se encuentran pequeñas proporciones de *álcalis fijos*, que proceden de las calizas empleadas en la fabricación ó de las cenizas del combustible. Parece que los álcalis tienen una influencia indirecta en la hidraulicidad de las cales, y en especial en la de los cementos, atacando á los silicatos y facilitando su fusión; de suerte que, con una misma temperatura, deben resultar con la potasa y la sosa reacciones químicas más enérgicas.

Los álcalis sirven, pues, de intermedio para la combinación de la sílice con la cal. En este principio está fundada la preparación de productos hidráulicos hecha por Kuhlmann, procediendo por vía seca ó húmeda, con mezclas de silicato potásico y cal grasa; ya se habló algo del particular al tratar de la silicatación de piedras.

Influencia del anhidrido carbónico.—Cuando las calizas no se han cocido á una temperatura suficiente para que se descompongan por completo, ó cuando las cales se han aireado, se encuentran en éstas fragmentos carbonatados, y el producto tiene, por consiguiente, *anhidrido carbónico*.

Si se trata de cales grasas, esos fragmentos, que son los llamados *huesos,* son inertes; no pueden hidratarse, y es preciso tener cuidado de separarlos al verificar el apagamiento, para que la pasta sea fina y homogénea.

En los cementos de fraguado rápido no importa que exista anhidrido carbónico, pues ya se sabe que la temperatura, á que se verifica la cochura de las calizas correspondientes, no es la necesaria para desalojar el gas, sino la que la experiencia demuestra ser más á propósito para obtener la energía hidráulica que convenga. Como los cementos no se apagan, desaparece el inconveniente que una carbonatación parcial ofrece en las cales grasas.

Los huesos mezclados con cales hidráulicas, son los que han llamado por mucho tiempo la atención de los ingenieros y de los sabios, habiendo hecho notables experimentos hombres tan eminentes como Minard y Vicat. Es fácil darse cuenta de los efectos que produce la calcinación incompleta de calizas arcillosas. La cal que queda combinada con el anhidrido carbónico forma un carbonato cálcico, substancia inerte; pero la cal libre, la que puede combinarse con la sílice, está entonces en menor proporción relativa y el índice de hidraulicidad aumenta. Se comprende, pues, que por este medio podría acrecerse la energía de las cales, haciéndolas pasar, por ejemplo, de débil á medianamente hidráulicas. Este hecho, importante en teoría, no puede tener aplicación en la práctica, por la dificultad de regular la cochura, de suerte que se obtenga una dosis determinada de gas carbónico. De todos modos, los trozos poco calcinados hay que separarlos al apagar las cales; si fueren abundantes, cabrá ensayar si conviene utilizarlos en alguna obra, teniendo presente que de ordinario ofrecerán caracteres hidráulicos algo más acentuados que los de la masa de cal de la misma hornada.

INFLUENCIA DE LOS TROZOS DEMASIADO CALCINADOS.—Ya que en el párrafo precedente se han visto las propiedades de los trozos poco calcinados, ó sea de los huesos, procede decir breves palabras de las que tienen los fragmentos que hayan experimentado una calcinación excesiva.

Cuando las cales son grasas, nada importa, desde el punto de vista de calidad de los productos, que, en la totalidad ó en parte de una hornada, se haya elevado demasiado la temperatura de calcinación.

Como se dijo al tratar de la cochura de las calizas, el único inconveniente que resultará será un exceso inútil de gasto de combustible.

Si las cales son hidráulicas, ó si se trata de cementos, los trozos sobrecalcinados ó recocidos podrán obrar como las cales límites cuando experimentan una vitrificación parcial; quizá sean aprovechables, por consiguiente, para ciertas obras, pero deben separarse con cuidado al batir las pastas.

Conocida ya la influencia que ejercen las diversas substancias que suelen contener las cales, se podrán comprender los fenómenos que producen su endurecimiento.

Fraguado de las cales grasas.—Cuando la pasta de cal está expuesta al aire, se endurece por la desecación; al secarse experimenta una contracción, que se hace más sensible á medida que la cal es más pura. Esta causa es la más importante de las que influyen en el fraguado de las cales grasas, y explica el que no puedan emplearse debajo del agua, ni en sitios á que no tenga acceso el aire atmosférico.

Otra circunstancia notable que contribuye al endurecimiento de las cales grasas, es la acción lenta del anhidrido carbónico del aire, que poco á poco penetra en la masa y la va transformando en carbonato insoluble, ó por mejor decir, en un hidrocarbonato cálcico, cuyos cristalitos se unen y entrelazan. La reacción química que se verifica, es probable que deba escribirse así:

$$2\left(\left.\begin{matrix}Ca''\\H^2\end{matrix}\right\}O^2\right)+CO^2=\underbrace{\left.\begin{matrix}CO''\\Ca''\end{matrix}\right\}O^2+\left.\begin{matrix}Ca''\\H^2\end{matrix}\right\}O^2}_{\text{Hidrocarbonato cálcico.}}+\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O.$$

Se ve, pues, como se anticipó anteriormente, que en el fraguado de las cales no se regenera nunca el carbonato primitivo.

Fraguado de las cales hidráulicas.—De los desarrollos en que se ha entrado en este artículo, se desprende que la substancia que contribuye por excelencia á la hidraulicidad de las cales es la sílice, á la que la calcinación convierte en combinación química atacable por los reactivos: la alúmina, sin ejercer una acción tan enérgica, facilita, por lo menos, la influencia de la sílice y exalta la hi-

draulicidad de los productos. Los otros cuerpos extraños son inertes ó perjudiciales, á excepción del azufre, en estado de sulfuro, y de los álcalis fijos, que accidentalmente pueden coadyuvar al endurecimiento. Respecto de la magnesia, es dudoso si se asemeja en su modo de obrar á la alúmina, ó si se limita á aridecer las pastas, aunque parece más verosímil la segunda hipótesis.

Aun admitidos estos precedentes, no hay uniformidad absoluta en la explicación del fraguado, que dan los químicos más distinguidos.

Según Rivot, las calizas de cales hidráulicas ordinarias, se han transformado al salir del horno en mezclas de silicatos y aluminatos cálcicos y de cal libre. La fórmula del silicato debe ser $\left.\begin{matrix} Si^{IV} \\ Ca''^{2} \end{matrix}\right\} O$ (28 partes en peso de cal, por 15 de sílice), y la del aluminato $\left.\begin{matrix} (Al^{2})^{VI} \\ Ca''^{3} \end{matrix}\right\} O^{6}$ (168 de cal, por 105 de alúmina). Los índices de hidraulicidad de estos dos productos serían respectivamente 0,54 y 0,61, de los cuales el primero está comprendido entre los que corresponden á los cementos de Portland, y el segundo coincide casi con el límite de separación de los de aquellos cementos y de los de fraguado rápido; de donde se deduce que, admitiendo esta teoría, en las cales hidráulicas propiamente dichas debe haber siempre cal libre en exceso. Las cales hidráulicas puestas en contacto con un poco de agua, se apagan y reducen á polvo por la extinción propia de la cal libre, que produce una desagregación general en la masa. Si se añade mayor cantidad de agua para formar la pasta, los silicatos y aluminatos cálcicos se hidratan, formando hidrosilicatos é hidroaluminatos insolubles, que fraguan por una especie de cristalización confusa, como se verifica en la solidificación del yeso. La cantidad de agua con que se combinan los silicatos de calcio es, según el mismo Rivot, de seis moléculas por una de sal. El fenómeno de endurecimiento se efectúa lo mismo bajo el agua que al aire libre.

La explicación que antecede es la generalmente adoptada, pero, sin embargo, no está conforme con ella un químico tan ilustre como Frémy, que sostiene que el fraguado no procede de la hidratación del silicato cálcico, sino de su unión con la cal hidratada, viniendo á obrar aquella sal como una especie de puzolana. En lo que sigue, se aceptará la teoría de Rivot; mas conviene llamar la

atención sobre que éste y Frémy están conformes en que el aluminato cálcico es un producto muy hidráulico, que fragua con mucha rapidez, pero que su endurecimiento no es estable y se descompone debajo del agua en poco tiempo.

Fraguado de los cementos.—Rivot ha tratado de explicar la diferencia entre el modo de fraguar los cementos y las cales hidráulicas. En estas últimas, la cal libre que acompaña á los silicatos y aluminatos de calcio después de la cochura, retarda el endurecimiento de la pasta; no pudiendo contar para solidificarse más que con el anhidrido carbónico, cuya acción es muy lenta, una parte de aquella cal es arrastrada por el agua, y el resto queda englobado en el hidrosilicato, á medida que cristaliza. Los cementos, al salir del horno, no tienen cal libre; se componen sólo de silicatos y aluminatos de calcio, que se hidratan y fraguan con gran rapidez. En otros detalles se ocupa también Rivot, íntimamente ligados con este interesante asunto; pero, como quiera que parte de hipótesis arbitrarias y que dejan mucho que desear, no se juzga oportuno entrar en su examen.

CALES Y CEMENTOS ARTIFICIALES.

Hasta ahora se ha supuesto que las cales y cementos provengan de la calcinación directa de calizas de composición adecuada, para que los productos ofrezcan los caracteres que en cada caso sean oportunos. Sin embargo, partiendo de la observación sencilla de que las cales hidráulicas son una mezcla de cal pura y arcilla, Vicat empezó á fabricar en 1820 cales artificiales, cuya industria llegó á adquirir gran desarrollo. El invento es de importancia suma, pues gracias á él se pueden elaborar, en cualquier sitio, cales y cementos, en los que la arcilla y la cal estén exactamente en la relación que se desee. Aunque sin entrar en detalles, se expondrán los procedimientos que se siguen en la fabricación.

FABRICACIÓN DE CALES HIDRÁULICAS ARTIFICIALES.

Las cales hidráulicas artificiales se preparan por *simple* y por *doble cochura*.

Procedimiento de simple cochura.—Se buscan calizas blandas y fáciles de pulverizar, y se determina la cantidad de arcilla que contienen, por los procedimientos de análisis, que se darán á conocer en la segunda parte de esta obra. Se deslíe el polvo en agua, formando una papilla espesa; por otra parte, se deslíe del mismo modo arcilla pura; se mezclan las dos papillas, en la proporción que convenga, y se somete la pasta á una trituración enérgica para obtener un producto tan homogéneo como sea posible. La trituración se efectúa á veces en toneles amasadores, que se describirán al reseñar la fabricación mecánica de morteros; pero, en general, se prefieren los molinos verticales, de que también se hablará entonces, porque hacen sufrir á la materia una compresión enérgica y no una agitación simple. Al salir de los toneles ó de los molinos, la substancia pasa á una serie de depósitos escalonados, que comunican entre sí por vertederos: cuando está lleno el superior, la pasta empieza á introducirse en el inmediato, y así sucesivamente, hasta el depósito inferior, en que se reune un líquido fangoso, formado por las aguas que suben á la superficie en cada uno de los compartimientos, al que se da salida por el medio que, según las circunstancias locales, sea más económico.

Cuando la pasta se ha secado un poco en los depósitos, se corta en forma de adoquines pequeños, que se acaban de secar en una era solada. Cuando están secos, se cuecen como las calizas ordinarias.

La composición de la cal hidráulica artificial de París, que se empleó mucho en las obras de fortificación, es la siguiente:

Cal	74,60
Sílice	15,86
Alúmina	7,93
Óxido de hierro	1,61
Total	100,00

Su índice de hidraulicidad es $\frac{15,86 + 7,93}{74,60} = 0,32$, y puede considerarse, por tanto, como una cal medianamente hidráulica.

Procedimiento de doble cochura.—Cuando no se puede disponer de una caliza fácil de pulverizar, se empieza por calcinarla. Obtenida la cal, se apaga con cuidado y se hace una papilla que se mezcla con la arcilla; se comprime la pasta; se moldea, como en el caso anterior, y se cuece de nuevo para hacer revivir la cal. Después de la cochura, se pulveriza el producto.

Vicat empleó cal hidráulica artificial, preparada por este procedimiento, para los cimientos de las pilas del puente de Souillac; colocaba la pasta moldeada encima de la caliza ordinaria, en el vientre de un horno intermitente. La caliza era la primera que recibía la acción del fuego y se transformaba en cal grasa; la cal grasa obtenida en una hornada entraba en la composición de cal artificial en la hornada siguiente. Se comprende desde luego que para esta clase de fabricación, producirían excelentes resultados los hornos dobles, que se describieron al reseñar los medios de utilizar el calor que se pierde en la cochura (fig. 38).

Las cales hidráulicas artificiales han perdido mucha importancia, desde que la baratura de los transportes por mar y por las vías perfeccionadas, permite llevar los productos naturales á grandes distancias.

FABRICACIÓN DE CEMENTOS ARTIFICIALES.

Fabricación del Portland.—Ordinariamente los únicos cementos artificiales que se fabrican son los de Portland ó de fraguado lento, que aparecieron por primera vez en los puertos del canal de la Mancha, en 1850. Los que gozan de más reputación son los ingleses, el de Stettin (Prusia) y los de Boulogne y Theil, en Francia; para la preparación del último se utilizan los trozos demasiado calcinados, que resultan al cocer la cal hidráulica natural de la misma procedencia. Las composiciones del Portland inglés y del de Boulogne son las siguientes:

	Portland inglés. (1)	Portland de Boulogne. (2)
Cal	59,23	64,60
Sílice	22,42	23,93
Alúmina	13,02	6,37
Anhidrido férrico		2,97
Magnesia	0,64	0,72
Ácido sulfúrico	0,50	0,53
Anhidrido carbónico y elementos no dosificados	4,19	3,88
TOTALES	100,00	100,00

Son de notar las pequeñas diferencias que existen en las proporciones en que entran las diversas substancias en los dos cementos: sus índices de hidraulicidad son 0,59 para el primero y 0,49 para el segundo, aunque en realidad el primero será algo menor, porque para deducirlo con exactitud sería preciso segregar la dosis de anhidrido férrico, que en la análisis no se ha separado de la alúmina. En general, la composición química de los cementos de Portland que se usan en las construcciones, varían entre límites muy próximos, pudiendo establecerse que las proporciones de los elementos esenciales oscilan entre los guarismos que se expresan á continuación:

Cal	59 á 65	por 100
Sílice	21 á 25	»
Alúmina	5 á 10	»

Como es raro encontrar una caliza que tenga el carbonato cálcico y la arcilla en la relación que se necesita para preparar buen Portland natural (22 á 24 por 100 de arcilla, por 78 á 76 de carbonato cálcico), resulta que casi todos los cementos de fraguado lento son productos artificiales. El procedimiento que se sigue es, en la esencia, el mismo de simple cochura, que se ha explicado para las cales hidráulicas, si bien la fabricación es más esmerada.

(1) Esta composición se refiere al cemento inglés, de marca *Johnson*, del que han analizado 82 ejemplares, Hervé Mangon y Durand-Claye.

(2) La composición estampada es el término medio de las de 172 ejemplares analizados por los mismos Ingenieros citados en la nota anterior.

En Inglaterra, en los establecimientos próximos á Londres, se mezcla, en las dosis adecuadas, creta pura con arcilla de aluvión de las orillas del Támesis. En otras partes, se añade creta á margas arcillosas ó arcilla á margas calizas, ó, por último, se mezclan margas arcillosas y margas calizas. Lo esencial es que la cohesión de las materias no sea grande, y que entren la arcilla y el carbonato en las proporciones que se requieren, para que por la calcinación resulten cementos de fraguado lento. Cuando los cuerpos que se mezclan no tienen álcalis, se suele añadir de 0,5 á 1 por 100 de carbonato alcalino ó sal común, pues ya se sabe que la potasa y la sosa mejoran la calidad de los cementos.

Las substancias se deslíen en agua, y para reducirlas á polvo impalpable, se someten en canales anulares á la acción de grandes rastras de hierro. La papilla clara obtenida así, se hace salir á través de una tela metálica de mallas estrechas, yendo á parar á albercas ó estanques escalonados, en que se depositan las materias sólidas. La capa fangosa va aumentando de espesor, hasta llenar las albercas; se revuelve la pasta para hacerla homogénea; se corta después, en forma de adoquines, y se concluye la desecación al aire libre ó á cubierto, según el clima. Á veces se acelera la desecación, sometiendo la masa moldeada á una temperatura de 80 á 100°.

«La cochura del cemento de fraguado lento, dice Hervé Mangon, ejerce en sus propiedades grandísima influencia: hasta cierto punto puede corregir un error en la composición química normal de la pasta, y á ella debe siempre el cemento la densidad considerable que posee, cuando es de buena calidad. La cochura, no sólo tiene por objeto desalojar el anhidrido carbónico, sino determinar entre los elementos una combinación íntima y producir un principio de vitrificación en la superficie de los fragmentos. Esta operación exige un personal celoso y de mucha práctica.»

Después de seca la pasta moldeada, se dividen los paralelepípedos en fragmentos que puedan pasar en todos sentidos por un anillo de $0^m,06$ á $0^m,07$ de diámetro, y se cuecen en hornos intermitentes alimentados con cok, proscribiéndose el carbón de piedra, cuyos betunes y piritas podrían perjudicar notablemente al cemento. Los hor-

nos ordinarios están formados por dos troncos de cono, unidos por su base, de 20 á 25 toneladas de cabida; la cocción dura de veinticuatro á cincuenta horas y el enfriamiento dos ó tres días, consumiéndose de 200 á 350 kilogramos de combustible, por tonelada de cemento. Teniendo que estar sometidos los hornos de Portland á una temperatura mucho más elevada que los ordinarios de cal, deben construirse con especial solidez.

Al descargar el horno, se separan todos los trozos de mala calidad, que se conocen en su aspecto, color y pequeña densidad, debiendo rechazarse todo cemento cuyo peso no esté comprendido entre 1.270 y 1.500 kilogramos, por metro cúbico. Esta es una circunstancia muy importante, como se verá en lo sucesivo, y que indica desde luego la conveniencia de establecer en los pliegos de condiciones, que la recepción del Portland se haga por peso y no por volumen.

Los fragmentos buenos se trituran primero, en muelas de granito ó en cilindros, y después se pulverizan en un molino de piedras horizontales; se criba el polvo y se envasa en barriles para exportarlo.

En el comercio se venden á veces, con el nombre de Portland, mezclas de cemento de fraguado lento con materias inertes, cales hidráulicas, yeso ú oxisulfuros cálcicos. Estos compuestos fraguan en el momento que se emplean, pero el endurecimiento no es estable y se desagregan pronto. Es preciso estar prevenidos contra esas falsificaciones, y no recibir los cementos sin someterlos á experimentos previos.

PRINCIPALES CALES Y CEMENTOS QUE SE EMPLEAN EN ESPAÑA.

Las cales son muy abundantes en España, razón por la cual es imposible reseñar las que se aplican en las diferentes provincias. Por consiguiente, sólo se indicarán las que ordinariamente se emplean en Madrid; los importantes cementos que se obtienen en el Norte de España, sobre todo en la provincia de Guipúzcoa, y los productos extranjeros que se usan con frecuencia en el servicio de Obras públicas.

Cales que se emplean en Madrid.—La cal grasa que se emplea en Madrid para las construcciones, es la de la Alcarria; las calizas de que proviene son muy puras, resultando de su calcinación una cal en extremo untuosa y cuyo índice de entumecimiento (1) pasa algo de 2.

En las obras que requieren una cal medianamente hidráulica, se usa con buen resultado la de Valdemorillo, cerca del Escorial, que, viva y en terrón del tamaño del puño, tiene por densidad 0,872; un metro cúbico de cal viva se convierte en 1,59 de cal apagada en polvo finísimo, según resulta de los experimentos del Inspector general del Cuerpo, D. José Morer.

Estas son las dos cales más empleadas, por más que hay otras varias de diferentes procedencias que sirven para la construcción en la capital.

Cementos de Guipúzcoa.—Los cementos de Guipúzcoa constituyen productos de notable importancia, cuyo uso se ha generalizado, no sólo en España, sino en el extranjero, exportándose grandes cantidades al Mediodía de Francia y á América, donde compiten con los cementos ingleses y franceses. Las fábricas que existen en dicha provincia, son muy numerosas: las de mayor entidad se encuentran en Zumaya, Iraeta y San Sebastián, y aunque hay poca diferencia entre los cementos que en ellas se preparan, la más acreditada es la que tiene establecida en Zumaya D. Eusebio Gurruchaga, cuyos productos se analizaron por Vicat, habiéndose efectuado otras varias análisis en el Seminario de Vergara, en el laboratorio de la Escuela de Puentes y calzadas, en el de la de Ingenieros de Caminos, etc. Estos ensayos, hechos con mucho esmero, no han dado, sin embargo, resultados idénticos, á causa de la falta de homogeneidad de los bancos de caliza, de donde proviene este cemento natural; pero, por término medio, resulta de 26 á 30 por 100 de arcilla en la caliza, debiendo, por tanto, clasificarse el cemento entre los de fraguado rápido, por más que éste no sea instantáneo. Una análisis de la piedra de que procede el cemento de Zumaya, se ha publicado en 1883 en el *Journal officiel illustré* de Burdeos, al dar cuenta del premio de

(1) Se llama *índice de entumecimiento* la relación entre el volumen de pasta de cal y el de la cal viva en terrones.

medalla de oro concedido al Sr. Gurruchaga, en la Exposición celebrada en aquella ciudad. La composición es la siguiente (1):

Carbonato cálcico	67,50
Idem magnésico	0,70
Anhidrido férrico	3,50
Sílice	16,60
Alúmina	9,40
Arena, agua y pérdidas	2,70
TOTAL	100,00

El índice de hidraulicidad correspondiente es $\frac{16,60 + 9,40}{67,50 \times 0,56} = 0,70$.

De los experimentos hechos en el puerto de Brest, se deduce que el cemento de Zumaya tarda en fraguar una hora y diez minutos, si se emplea en cuanto se recibe; dos horas, al cabo de seis meses, y tres, cuando ha transcurrido un año. Este producto pesa, por término medio, una tonelada por metro cúbico.

Cemento de Novelda.—Se emplea también mucho en las provincias del centro y de levante, un cemento procedente de Novelda (provincia de Alicante), que es algo inferior al de Zumaya.

Cales y cementos extranjeros.—Se usan asimismo en España algunas cales y cementos extranjeros.

CAL DE THEIL.—La más importante de aquellas es la de Theil, en el departamento del Ardèche. Esta cal natural es quizá la mejor de cuantas se fabrican en Francia, y se emplea principalmente en obras marítimas, porque no la descomponen las aguas del mar, por lo menos las del Mediterráneo, como lo demuestran los resultados obtenidos en los puertos de Argel, Tolón y Marsella; en España se aplica con excelente éxito en los de Barcelona, Valencia, Cartagena y otros puntos. La cal de Theil se endurece mucho con el tiempo; no fragua hasta los cinco ó seis días de sumergida, lo que se comprende que suceda, porque pertenece al grupo de las eminentemente hidráulicas.

(1) Es probable que esta análisis sea la efectuada en la Escuela de Puentes y calzadas.

En efecto, del término medio de las 21 análisis hechas por Hervé Mangon y Durand-Claye, se deduce que su composición media es la siguiente:

Cal	62,62
Sílice	25,51
Alúmina	2,01
Anhidrido férrico	0,50
Magnesia	1,05
Agua, anhidrido carbónico y substancias no dosificadas	10,51
TOTAL	100,00

El índice de hidraulicidad es $\frac{25,51 + 2,01}{62,62} = 0,40$; aunque el que se obtiene es algo menor, considerando los resultados de las análisis de Vicat y de Rivot, siempre resulta que la cal es eminentemente hidráulica, y por cierto es un notable ejemplo, que ya se tuvo ocasión de citar, de productos hidráulicos inmejorables, que apenas encierran alúmina.

Al sacarla del horno, se lleva la cal de Theil á fosos en que se apaga y se reduce á polvo con lentitud; se criba después para separar los huesos y se envasa en sacos ó barriles.

CEMENTOS DE PORTLAND.—También se importan en grandes cantidades, de Inglaterra y Francia, cementos de fraguado lento, cuya fabricación y proporciones se han dado á conocer en el artículo anterior. El Portland no se prepara en España, pero parece que se hacen ensayos para montar su elaboración en Zumaya.

APAGAMIENTO DE LAS CALES.

La cal viva que sale de los hornos, tiene una gran avidez por el agua; absorbe la humedad de la atmósfera y tiende á apoderarse del agua que encierran los tejidos orgánicos, produciendo el efecto de un cauterio enérgico. Para formar la pasta de cal, que es el elemento esencial de las argamasas, es preciso empezar por hidratarla, haciendo que se combine con toda el agua que requiere. Esta opera-

ción, que se llama *extinción* ó *apagamiento* de la cal, puede hacerse de tres maneras: 1.°, *por fusión en el agua;* 2.°, *por inmersión* ó *aspersión*, y 3.°, *espontáneamente,* por la sola acción de la atmósfera.

Apagamiento por fusión ó en balsas.—El apagamiento en balsas debe hacerse, como lo indica su nombre, en albercas, no empleando más que la cantidad de agua necesaria para reducir la cal al estado de papilla espesa, procurando echar de primera intención bastante agua para no tener que añadir más durante la efervescencia; en último resultado, se espera á que se enfríe la cal para añadir con mucha precaución una nueva cantidad de agua. Se ha de tener cuidado de no poner en la alberca donde debe hacerse la extinción, más que un volumen tal de cal viva, que el entumecimiento no la haga desbordarse; se echa en seguida el agua sobre la cal, y cuando se vea disminuir la efervescencia, se bate la masa hasta que todos los pedazos de cal queden perfectamente deshechos.

Si la cal es grasa, cuando la papilla está bien homogénea, se hace pasar á depósitos excavados en el suelo, donde puede conservarse indefinidamente, cubriéndola de arena, hasta el momento de emplearla; así se logra que todas las partículas queden bien apagadas, y mejora de un modo notable la condición de la cal. En cuanto á las cales hidráulicas, como se endurecen con más ó menos rapidez, hay que preparar la pasta á medida que se necesite.

Al apagarla en balsas, la cal grasa se hiende é hincha, aumentando de volumen en la relación de 1 á 1,5 ó 2, y á veces en la de 1 á 2,5; y la combinación química del agua y de la cal desarrolla una gran cantidad de calor, que produce vapores abundantes. En las cales hidráulicas, el apagamiento no suele producir más de vez y media el volumen primitivo, y el calor desarrollado es menor que en las cales grasas. Los guarismos que se han indicado, suponen que la cal viva se mida en terrón sin descontar huecos, y que la pasta tenga una consistencia media.

La cantidad de agua con que se ha de mezclar la cal es de importancia suma, si la pasta ha de emplearse en la preparación de morteros, pues las pastas flúidas facilitan la manipulación de aquellos, pero amortiguan la cal y producen argamasas detestables. Es preciso, pues, tener mucho cuidado de no ahogar la cal, y al mismo tiempo que haya suficiente líquido para que se empape toda la masa y

no queden algunos trozos poco mojados, en cuyo caso decrepitan, se eleva demasiado su temperatura y se corre el riesgo de que no se apaguen por completo ó que se formen grumos, si no se añade el agua con precaución extremada. La cantidad de agua que se ha de emplear tiene que determinarse experimentalmente en cada caso, pues varía entre límites bastante extensos; según Vicat, un kilogramo de cal viva requiere de 1kg.,18 á 3,55 de agua, aplicándose el primer guarismo á las cales eminentemente hidráulicas, y el segundo á las excepcionalmente grasas; en otros términos, un metro cúbico de cal en terrón, que pesa de 800 á 900 kilogramos, exige de 1 á 3 metros cúbicos de agua.

En cuanto al volumen de pasta que se obtiene con un peso determinado de cal viva, depende de la densidad de ésta y de su índice de entumecimiento. Vicat admite que 100 kilogramos de cal muy grasa, dan un volumen de pasta de $0^{m^3},24$; pero si la cal no es muy pura ni está recién cocida, aquella cantidad desciende á $0^{m^3},18$. Suponiendo que la densidad de la cal sea 0,85, los números expresados corresponden á índices de entumecimiento comprendidos entre 2 y 1,5; y, en efecto, no parece que deba contarse con que el volumen aumente por el apagamiento en mayor relación que la de 1 á 2. El peso específico y la composición de las cales hidráulicas son demasiado variables para que pueda determinarse con tanta precisión los límites entre que oscilan los índices respectivos.

En obras importantes, las balsas para el apagamiento son albercas fijas de fábrica; pero en las de poca entidad, cuando hay que preparar un corto volumen de pasta, los albañiles colocan la cal viva en una área bien apisonada, de suerte que quede rodeada por la arena que haya de entrar en el mortero; el agua se vierte en el depósito así formado.

La cal no se emplea sólo en las construcciones para hacer morteros; es muy frecuente utilizarla para blanqueos y encaladuras: en tales casos se añade bastante agua á la pasta para formar lo que, por su aspecto, se llama *lechada*. La adición de líquido, tan perjudicial para los morteros, es indispensable entonces. Cuando se prepare la lechada de cal es menester más cuidado aún de que no formen grumos los trozos perezosos para apagarse, á fin de evitar que las superficies que se enluzcan ofrezcan asperezas ó desigualdades.

Apagamiento por inmersión ó aspersión.—Para apagar la cal por inmersión, se reducen los terrones de cal viva á pedazos de la magnitud de una nuez próximamente, y se colocan en canastos ó cestos de claros anchos, que se sumergen en el agua el tiempo que sea necesario, y que, por término medio, viene á ser un minuto, para que se produzca un principio de efervescencia; se sacan entonces los cestos y se dispone su contenido en montones ó en cajas, de modo que, perdiéndose el calor con menos facilidad, se reduzca la cal á polvo.

Pudiera emplearse, para apagar la cal por inmersión, una especie de noria, en cuyos cangilones se colocase la cal viva, calculando la velocidad del aparato, de modo que cada cangilón permaneciera en el agua el tiempo necesario para que se iniciara la efervescencia en la cal que contuviere.

El apagamiento por aspersión, que es el empleado por todas las fábricas de alguna importancia, se reduce sencillamente á regar los fragmentos de cal viva, colocados en montón en una área plana: la cantidad de agua que es preciso incorporar varía, según Durand-Claye, desde un cuarto hasta la mitad del volumen de cal, conforme sea la naturaleza de ésta.

Procédase por inmersión ó por aspersión, al apagarse los fragmentos de cal, se hienden con ruido, se produce un silbido al desprenderse las masas de vapor, y la cal se reduce á polvo. El calor desarrollado es bastante considerable para inflamar un poco de pólvora colocada al abrigo de la humedad, en una cavidad practicada en uno de los terrones.

Á veces los montones de cal mojada se cubren de arena; la extinción se va haciendo con lentitud y sin el contacto del aire, y se conserva así, en buenas condiciones, la cal necesaria para el consumo de algunos días.

Cuando la cal se ha apagado en polvo, es preciso preparar después la pasta. Para ello se coloca en una alberca el agua necesaria, y se va echando á paladas y poco á poco la cal, cuidando de batir constantemente la mezcla. También se puede tender una capa delgada de cal en el fondo de la alberca y añadir, en pequeñas porciones y por aspersión, el agua indispensable; se remueve bien la masa y se va batiendo la pasta, por capas sucesivas, hasta que se llene la

alberca. Finalmente, cuando se usan máquinas para fabricar los morteros, es muy común colocar en los aparatos la mezcla en seco de polvo de cal y arena, haciendo llegar en seguida el líquido en la dosis á propósito. Ésta no puede fijarse *a priori*: al reducirse la cal á polvo, ha sufrido ya un entumecimiento considerable, absorbiendo agua, que retiene; para formar la pasta se necesita, por consiguiente, una cantidad mucho menor, á volúmenes iguales, que para las cales vivas en terrón. Los experimentos efectuados por Gobin, hacen ver que un metro cúbico de cal de Theil en polvo, medida sin comprimirla, requiere 440 kilogramos de agua para reducirse á pasta.

Comparación de los dos métodos precedentes de apagamiento.—La extinción en balsas tiene la ventaja, sobre la hecha por inmersión ó aspersión, de que produce una notable economía de material, sobre todo si se trata de cales grasas. Para formarse una idea, basta saber que de los ensayos hechos por Vicat, resulta que las cantidades de cal grasa que entran en dos volúmenes iguales de pasta de idéntica consistencia, preparado uno por el apagamiento en balsas y el otro con la cal en polvo, están en la relación de 100 á 161. Esta circunstancia se manifiesta también en las cales hidráulicas, pero de una manera mucho menos acentuada, y tanto menos cuanto mayor sea el índice de hidraulicidad.

El apagamiento en balsas ofrece asimismo la ventaja, según el propio Vicat, de dividir mejor las cales de cualquiera especie que sean, y hacer llegar al máximo el aumento de volumen.

La extinción con poca agua presenta, en cambio, en su favor la facilidad de poder separar á mano los trozos poco calcinados, que no se reducen á polvo como el resto de la masa; sin embargo, hay que reconocer que con el apagamiento en balsas no es difícil aislarlos, porque, en virtud de su mayor densidad, se depositan siempre en el fondo de la alberca.

En resumen, la extinción en balsas es más económica, principalmente si la cal es grasa; la economía es muy pequeña para cales eminentemente hidráulicas. Una larga práctica demuestra que las pastas preparadas por los dos procedimientos dan buenos resultados; de suerte que parece natural dar la preferencia al primer sistema, cuando las cales no sean muy hidráulicas; en caso contrario, vienen á equilibrarse los dos procedimientos, si bien es preciso recurrir

frecuentemente á la inmersión ó á la aspersión, por emplearse cales hidráulicas procedentes de grandes fábricas, que envasan y exportan sus productos apagados en polvo. No obstante, Vicat considera preferible la extinción seca para los morteros de cal grasa, fundándose en que si bien resulta un aumento notable en el gasto de cal, se acrece en unos dos tercios, la cohesión de las argamasas; por el contrario, para las de cales hidráulicas, se inclinaba al apagamiento en balsas, que, según él, da un incremento en la cohesión de las mezclas, que, aunque es de poca entidad cuando aquellas están expuestas al aire, llega á ser de $^1/_5$ en el caso de inmersión constante. Estos resultados no parece que están suficientemente comprobados; sin embargo, es posible que el apagamiento por inmersión favorezca á los morteros de cal grasa, por la circunstancia de que la pasta preparada por aquel medio tiene, á igualdad de volumen, menor cantidad de agua y producirá menos contracción al secarse.

Tercer método.—Apagamiento espontáneo.—El apagamiento espontáneo preconizado por Vicat, consiste en abandonar la cal viva en terrón á la acción de la atmósfera; la humedad del aire acaba por apagarla al cabo de cierto tiempo, que no baja de tres meses. Este método, que nunca se ha llevado al terreno de la práctica, aparte de que exigiría un acopio considerable de cal y vastos almacenes, no es verosímil que produjera buenos resultados, porque la cal no absorbería sólo agua, sino anhidrido carbónico. Por lo demás, aunque fuera aplicable á cales grasas, no podría emplearse para las hidráulicas, por pequeño que fuese su índice, en atención á que al airearse se alterarían sus propiedades.

CONSERVACIÓN DE LAS CALES.

Para conservar las cales grasas, el mejor método consiste en reducirlas á pasta, en albercas ú hoyos poco permeables y cubrirlas con una capa de $0^m,30$ á $0^m,40$ de arena ó tierra. Á medida que pasa tiempo la cal mejora; todos los granos se apagan por completo, desaparecen los grumos y la pasta se hace tan untuosa, que Alberti ha visto alguna, preparada siglos atrás, que se conservaba perfectamente homogénea y suelta.

Las cales grasas pueden también guardarse vivas y en terrón, pero este sistema se aplica en especial á las hidráulicas, cuyas pastas no deben batirse hasta el momento de usarlas, para evitar que se endurezcan. La cal en terrón es difícil de conservar en almacenes, porque si no se hiciese más que disponerla en montones, absorbería el agua y el anhidrido carbónico de la atmósfera, perdiendo sus cualidades, sobre todo si fuese hidráulica; además, á consecuencia de su extinción lenta aumentaría de volumen ejerciendo empujes en los muros, que podrían comprometer su estabilidad. Desaparecen estos inconvenientes apagando en polvo una cantidad suficiente de cal para formar, en la extensión del suelo del espacio cubierto de que se disponga, un lecho de $0^m,15$ á $0^m,20$ de espesor, sobre el que se apilan los terrones de cal viva, comprimiéndolos bien para disminuir los huecos; cuando el montón está terminado, se cubre por todas partes con una capa de cal en polvo, que se aloja en parte en los intersticios y que protege toda la superficie exterior; se alisa con una pala la cubierta, que ha de tener unos $0^m,15$ de grueso, á fin de evitar, en lo posible, la entrada del aire húmedo, y sobre toda la pila se extienden lonas, si hay oportunidad para ello. Resguardada así la cal viva, puede conservarse sin alteración sensible cinco ó seis meses: la cal en polvo no se carbonata más que en un espesor insignificante. Debe cuidarse de que los depósitos estén cubiertos y cerrados en todos sentidos, porque si llegase á penetrar algo de agua, pudiera ocasionar un incendio. Conservada la cal como se ha descrito, no se apaga, si han transcurrido algunos meses, con la energía y efervescencia que al salir del horno; para formar la pasta suelen necesitarse varias horas, y á veces un día entero de trabajo.

Guárdanse las cales apagadas en polvo, sin más precauciones que introducirlas en almacenes definitivos, ó en tinglados sencillos al pie de obra, cuidando de comprimirlas perfectamente y de cubrirlas con lonas. Villeneuve cita el ejemplo de un acopio de 1.000 toneladas de cal destinada á las obras de un viaducto cerca de Aviñón, que no pudo emplearse hasta pasados más de dos años; la cal se había conservado bajo tinglados, y produjo morteros de cohesión notable. Sin embargo, por lo general, no parece prudente este sistema cuando se ha de guardar por mucho tiempo la cal, siendo entonces preferible almacenarla en barriles. Esta precaución es de todo punto indispensable si se tra-

ta de cementos, que es preciso conseguir que no se aireen demasiado, porque de lo contrario pierden su energía, y según Vicat, se transforman en puzolanas. Los cementos ganan con conservarlos en barriles algún tiempo, porque se enfrían, no fraguan con rapidez excesiva y se facilita su empleo. En las grandes fábricas, sobre todo en las de Portland, suelen almacenar el cemento algunas semanas para que se enfríe aireándose un poco, y después lo envasan para la exportación en sacos ó barriles.

PUZOLANAS.

Puzolanas naturales.—Hay en la naturaleza substancias conocidas con el nombre genérico de *puzolanas*, que mezcladas con la cal forman compuestos hidráulicos. Las puzolanas, que fueron conocidas por los antiguos y de las que habla Vitruvio, deben su nombre á que en un principio se sacaban sólo de las inmediaciones de Pozzuoli, en la bahía de Nápoles. En la actualidad se sabe que existen estos productos en muchas regiones, y en general, en todas en las que hay volcanes apagados ó en actividad; como hecho curioso conviene consignar que las catacumbas de Roma están perforadas en macizos de puzolana.

La puzolana es siempre una roca escoriácea y algunas veces cavernosa, que presenta indicios claros de haber estado sometida á una temperatura elevada; es deleznable y relativamente ligera, pues su densidad no suele pasar de 1,2 ó 1,3; el color es en extremo variable (1). La análisis química demuestra que los elementos esenciales de la puzolana son la sílice y la alúmina; casi siempre contiene óxido férrico y á veces en fuertes dosis; y como elementos accidentales entran la cal, la magnesia, los álcalis fijos, el agua y otras materias. Todas las apariencias hacen creer que las puzolanas no fueron primitivamente más que arcillas, que bajo la acción de las fuerzas naturales experimentaron cambios en su composición y constitución, re-

(1) La puzolana de la isla de San Eustaquio, de que se hizo el muelle de San Juan de Puerto-Rico, es gris verdosa; la de Angono, cerca de Manila, gris obscura.

sultando atacables por la cal su sílice y su alúmina, del mismo modo que se verifica por efecto de la calcinación en las calizas arcillosas. Esta hipótesis explica satisfactoriamente el fraguado de las pastas puzolánicas, porque si la roca volcánica se pone en contacto con cal y agua, se tienen todos los elementos necesarios para la formación de los hidrosilicatos é hidroaluminatos cálcicos, que explican el endurecimiento de casi todos los compuestos hidráulicos.

Para que la puzolana se una á la cal con la mayor energía posible, es preciso reducirla á polvo fino; la trituración se hace, por lo general, por medios mecánicos, y conviene efectuarla al pie de obra para evitar fraudes.

En la naturaleza se hallan también algunas otras substancias que ofrecen en menor grado las propiedades de las puzolanas. Entre ellas conviene citar: 1.°, algunas *lavas porosas;* 2.°, ciertas rocas que provienen de la descomposición del *anfíbol* y las *dioritas;* 3.°, las *arenas arcillosas,* que son granos cuarzosos cementados por una arcilla parda ó anaranjada; y 4.°, algunas *areniscas* deleznables de pasta arcillosa.

Las puzolanas naturales propiamente dichas y las rocas que á ellas se asemejan, apenas se usan en España, donde se prefieren siempre las cales hidráulicas y los cementos. En la parte septentrional de Francia y en las regiones próximas al mar del Norte, es donde está más extendida la aplicación de las puzolanas, empleándose la traquita, que se conoce con el nombre de *trass de Holanda,* y que se explota en las montañas volcánicas inmediatas al Rhin, desde Maguncia á Colonia. Sin embargo, en época muy reciente se han usado puzolanas en obras tan importantes como el puerto de Trieste y el canal de Suez.

Puzolanas artificiales.—Estas substancias provienen de la torrefacción de las arcillas; sus propiedades hidráulicas son mucho menos enérgicas que las de las puzolanas naturales, en razón, sin duda, á que en la formación de estas últimas han concurrido circunstancias desconocidas hasta ahora, y que, por tanto, no es posible reproducir en la fabricación industrial.

Las arcillas que dan mejores puzolanas artificiales son las que tienen un poco de carbonato cálcico, pudiendo siempre conseguirse, pues bastará en todo caso agregar á la arcilla un poco de cal grasa,

de suerte que el producto encierre después de la cochura un 10 por 100 de cal.

Según Vicat, la temperatura de la cocción ha de ser próximamente la del rojo obscuro (600 á 700°), para que se logre llegar á la máxima potencia hidráulica; el calor debe elevarse algún tanto si las arcillas contienen más de 15 ó 20 por 100 de carbonato cálcico, para que éste se descomponga por completo.

La torrefacción no debe verificarse en vasos cerrados, porque la desagregación molecular es menor que cuando se opera en capacidades abiertas. Se patentiza este hecho tratando sucesivamente por un ácido hirviendo, el clorhídrico por ejemplo, dos partes iguales de puzolana que se hayan obtenido por uno y otro procedimiento, teniendo cuidado de pulverizarlas antes de hacer obrar el reactivo. La alúmina atacable formará un cloruro soluble, y se podrá separar de las demás materias por filtración, vertiendo en ambas disoluciones amoniaco, que precipita á la alúmina en estado de hidrato; pero se observará que la puzolana obtenida en vasos abiertos da mayor cantidad de precipitado que la otra, lo que prueba que aquel método es el que en mayor escala modifica la arcilla, haciendo atacables sus elementos.

Por lo general, la cocción se efectúa en hornos especiales de reverbero (1) ó en la parte superior de hornos de calcinación intermitente con llama larga.

Para facilitar la pulverización ulterior de la puzolana, es preciso que al sacarla del horno sea ligera y porosa, lo que se consigue agregando á la pasta aserrín, paja picada ó salvado: estas materias se queman durante la cochura y dejan porosa la masa.

Las operaciones que requiere la fabricación de la puzolana artificial, son: 1.ª Amasadura de la arcilla con agua, agregando, si se cree conveniente, cal y substancias destinadas á aumentar la porosidad; esta amasadura puede hacerse en toneles iguales á los que se emplean para la preparación de morteros. 2.ª División de la pasta, en forma de panes ó adoquines, que se secan al aire y se cuecen después, á una temperatura de 600 á 700° en hornos reverberos

(1) En la tercera sección de esta primera parte se describirán los hornos reverberos.

ó en caleras. 3.ª Pulverización en molinos de ruedas verticales y cernido á través de una tela metálica.

Además de la arcilla calcinada, todas las materias silicatadas, sometidas á la cochura, gozan de propiedades puzolánicas más ó menos acentuadas; así, el gneis tostado, las cenizas de hulla ó de turba, las escorias de base de hierro, las de los hornos altos, y otros cuerpos, pueden emplearse como puzolanas.

Se suelen usar también, como puzolanas artificiales de mediana calidad, el polvo de ladrillos, tejas y demás productos que se obtienen por la trituración de pastas cerámicas. Las tejas están cocidas con más uniformidad que los ladrillos y dan, por consiguiente, mejores resultados. El polvo de ladrillo ó de teja se emplea mucho en España como base de las pastas puzolánicas con que se retunden las juntas y se hacen otros trabajos de no gran importancia. Sin embargo, en algunas provincias, la de Cáceres, por ejemplo, se aplican aquellas pastas para obras de más entidad, como solados de azoteas, revestimientos y zampeados de depósitos de agua, etc.

CONDICIONES DEL AGUA

QUE HA DE SERVIR PARA LA FABRICACIÓN DE LOS MORTEROS.

Las aguas que tienen que emplearse en la fabricación de morteros, son las de manantiales, ríos, pozos, estanques, lagunas ó del mar. Las dos primeras son, por lo general, buenas; las de pozo ó estanque no siempre deberán usarse, en particular si son yesosas, pues perjudicarían notablemente á las mezclas, sucediendo lo mismo con algunas aguas de pantanos; de modo que, en general, conviene buscar aguas potables. Las del mar no son á propósito, en razón á la gran cantidad de sales que contienen y que podrían entrar en combinación con los componentes de los morteros, á no ser que éstos hayan de estar siempre sumergidos en agua salada, en cuyo caso podrán tener aplicación.

ARENAS.

Clasificaciones.—Las *arenas* provienen de la desagregación mecánica ó química de rocas compactas, y pueden dividirse en varios grupos, según su naturaleza, el tamaño de sus granos y su procedencia.

Según su origen ó naturaleza, se distinguen en *calizas* y *silíceas,* pudiendo comprenderse, en esta última denominación, las arenas *cuarzosas, graníticas* y *volcánicas.* Cada una de ellas, proviene de la clase de roca que su nombre indica. Las arenas calizas se descomponen por los ácidos, y de ordinario no son á propósito para las construcciones; las cuarzosas, cuando están limpias, son bastante buenas, y lo mismo sucede con las graníticas y las volcánicas. si no contienen mucha mica ó substancias de fácil descomposición. En estas dos últimas van comprendidas muchas que son verdaderas puzolanas, es decir, que mezcladas con cales grasas producen compuestos hidráulicos.

Según el tamaño de los granos, las arenas reciben diversos nombres, y aun cuando no hay límites precisos que marquen la separación de los grupos, pueden, en general, dividirse en *finas* y *gruesas,* y *gravilla,* excluyendo de la clasificación la arena impalpable, que, á consecuencia de estar casi siempre mezclada con tierra y restos orgánicos, tiene muy poca aplicación en la construcción. Se llama *arena fina* aquella cuyos granos no llegan á tener un milímetro de diámetro; *arena gruesa* es la que está formada por granos de 1 á 5 milímetros; estas dos clases son las que más se usan, especialmente para la fabricación de morteros. *Gravilla* es la arena cuyos granos tienen un diámetro de 5 á 10 milímetros. Pasando de este límite, se llega ya á la *grava,* que puede tener dimensiones hasta de 6 ó 7 centímetros, pero que en manera alguna debe considerarse como arena, sino como piedra.

Según su procedencia ó modo de encontrarse en el terreno, las arenas pueden ser de *mina,* de *río* ó de *mar.* Las primeras son las que se hallan en la superficie de la tierra ó en el interior, formando

capas, filones ó bolsas; las de *río* son las que depositan en su álveo y orillas las corrientes de agua dulce, y de *mar,* las que existen en el fondo de éste ó en sus playas, y que están expuestas á la acción inmediata de las emanaciones salinas. Las arenas de mina son las mejores, cuando además de ser de buena calidad, están limpias; siguen á éstas las de río, que suelen estar mezcladas y necesitan cribarse, y por último, las de mar que, atendida su composición y las sales que encierran, exigen muchas precauciones para su uso. Ordinariamente hay que lavarlas bien en agua dulce, á no ser que se destinen á obras sumergidas en el mar.

Condiciones á que deben satisfacer.—Las condiciones principales á que deberá procurarse satisfagan las arenas para emplearlas en las construcciones, son: 1.ª, estar bien limpias de tierra, lo cual se probará observando si crujen en la mano al apretarlas, ó echándolas en agua clara y viendo si la enturbian; y 2.ª, tener grano igual, á cuyo efecto se las hace pasar por cribas ó zarandas con agujeros del diámetro que convenga en cada caso. Cuando las arenas no satisfacen al primer requisito es indispensable lavarlas, para lo cual se extienden en el suelo formando una capa delgada, que se riega una ó más veces, si fuere preciso. Cuando en la proximidad de la obra exista un arroyo, por que corra agua, se pueden lavar las arenas barreando la corriente y echándolas á paladas en el remanso que se forma agua-arriba; las partículas arcillosas y tenues quedan en suspensión y las arrastra el agua; los granos silíceos van al fondo, de donde se sacan perfectamente limpios.

De todos modos, la separación de la arena cuando está mezclada con tierras es de coste elevado, con relación al precio del material, y es ventajoso en extremo encontrar, á no grandes distancias, arenas puras.

Aplicaciones.—La aplicación principal de las arenas en las construcciones, es á la fabricación de morteros; las más gruesas se destinan á la de piedras artificiales, y también á empedrados, recebos de carreteras, rellenos, etc. Algunos de los usos de la arena están fundados en la poca compresibilidad que tiene ese material, aun bajo la acción de fuertes cargas.

Influencia de la arena en los morteros.—Prescindiendo de algunas arenas puzolánicas, todas las demás son inertes, según

Vicat, y no ejercen químicamente, á lo menos durante mucho tiempo y sin la intervención de principios extraños, ninguna acción en la cal con que se mezclan; pero consideradas desde el punto de vista de la adherencia que contraen con aquella, las de grano áspero y anguloso dan á las mezclas mucha más cohesión que las de granos lisos y redondos.

La densidad media de la arena fina y seca es 1,45.

COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MORTEROS Ó ARGAMASAS.

Se examinarán sucesivamente los morteros de cales grasas é hidráulicas, los de cementos y las pastas puzolánicas.

MORTEROS DE CALES GRASAS Ó HIDRÁULICAS.

Objeto y condiciones de la arena.—Los morteros de cales grasas ó hidráulicas son mezclas de pasta de cal y arena, empleándose esta última substancia para remediar los inconvenientes que presentaría el uso de la cal sola. En efecto, la pasta de cal experimenta una gran contracción al fraguar, y si se usara sin ningún otro ingrediente para unir los materiales, quedarían éstos sin sólido enlace. La arena es, pues, en los morteros, un cuerpo inerte que aminora la contracción de la masa, y además disminuye el coste de la mezcla; basta que cada grano de arena esté cubierto de una película de cal para lograr la misma adherencia y producir iguales efectos que si la argamasa estuviese formada exclusivamente de aquella substancia. Siendo inerte la arena, claro es que los morteros tendrán idénticos caracteres químicos que las cales de que se compongan; pero si la arena no ejerce, por lo general, reacción alguna, contrae con la cal una adherencia puramente física, superior á la cohesión de la pasta. El tamaño de la arena que forma parte integrante de los morteros, no es indiferente. Según Vicat, en los de cal grasa debe preferirse la arena gruesa á la fina, al paso que ésta produce

mejores resultados que aquella en los de cales hidráulicas, hasta el punto que representando por 100 la cohesión definitiva de un mortero hidráulico preparado con arena fina, desciende á 70 si se emplea arena gruesa, y á 50 si se hace uso de gravilla. Sin embargo, por más que la resistencia de los morteros de cal grasa aumente con la arena gruesa, en algunos casos, como sucede, por ejemplo, cuando se trata de colocar sillares ó de retundir juntas, es menester, para el buen asiento y aspecto de la construcción, preparar el mortero con arena fina.

Parece que la naturaleza de la arena no influye, por lo común, en la calidad de los morteros, con tal que los granos sean duros y estén sueltos y limpios.

Proporciones en que deben entrar la pasta de cal y la arena.—Las proporciones en que han de entrar la pasta de cal y la arena deben ser las que experimentalmente se determinen en cada caso, para obtener mezclas impermeables, es decir, sin vacíos, y además la energía é hidraulicidad que convengan. Las proporciones, tanto en los morteros ordinarios, como en los hidráulicos, suele variar de $1 \frac{1}{2}$ á 4 partes en volumen de arena, por una de cal en pasta: en España es muy corriente usar la mezcla más rica en cal (5 volúmenes de arena, por 2 de cal) para las fábricas de alguna importancia, en el servicio de Obras públicas; pero se comprende que en las dosis que se adopten han de influir, no sólo la calidad de los materiales, sino las condiciones en que hayan de estar las mezclas. Desde luego puede asegurarse que cuanto más expuestos queden los morteros á las acciones atmosféricas, mayor cantidad de arena habrán de contener, porque la contracción de la pasta es entonces muy rápida y hay graves riesgos de que se formen grietas; por el contrario, si se teme que parte de la cal pueda ser arrastrada ó disuelta por el agua, será prudente disminuir la cantidad relativa de arena.

El volumen de mortero que resulta no es igual á la suma de los de pasta de cal y arena, y no precisamente porque haya contracción, en el sentido científico de la palabra, sino porque la cal tiene que rellenar los huecos que dejan entre sí los granos de arena y que, según los experimentos hechos por Claudel con arenas de río, cuyo diámetro estaba comprendido entre $\frac{1}{5}$ y 1,5 milímetros, pueden

graduarse en el 34 por 100 del volumen de arena poco mojada y sin comprimir (1).

El cuadro siguiente da los volúmenes de los dos componentes, que deben mezclarse para formar un metro cúbico de mortero de cal grasa ó hidráulica, según las relaciones de aquellos:

Relación entre el volumen de pasta de cal y el de arena.	VOLÚMENES NECESARIOS PARA OBTENER 1m³ DE MORTERO. Pasta de cal. — *Metros cúbicos.*	Arena. — *Metros cúbicos.*
2 á 3	0,50	0,75
1 á 2	0,43	0,86
1 á 3	0,34	1,00
1 á 4	0,25	1,00

Claro es que admitiendo la relación aproximada de $^1/_3$ para el volumen de los huecos de 1 de arena, los morteros en que la relación de la cal á la arena sea menor que $^1/_3$, no serán compactos, es decir, que no contendrán suficiente cal para llenar los huecos que existen entre los granos del otro componente. Los morteros propiamente dichos no tienen nunca menor cantidad de cal que el último de los que figuran en el cuadro anterior, pero se hacen á veces mezclas más áridas, como la llamada *hormigón de arena*, que se forma con una parte en volumen de cal grasa ó hidráulica, según las circunstancias, y 6 ó 7 de arena; en otros términos, á un metro cúbico de arena, se le agregan unos 0m³,15 de cal. Este compuesto se endurece con el tiempo y se pueden hacer con él macizos, con tal

(1) De aquí se deduce que si $\frac{1}{m}$ es la relación de volúmenes de pasta de cal y de arena que se haya admitido, el volumen x de pasta y el y de arena, necesarios para producir un metro cúbico de mortero, serán:

$$x = \frac{1}{1 + 0,66m};\ y = \frac{m}{1 + 0,66m};$$

fórmulas que pueden aplicarse mientras m sea menor que 3. Para valores de m mayores que 3, en el metro cúbico de mortero entrará siempre igual volumen de arena.

que no estén sometidos á la acción del agua, ni á la de fuertes cargas. Se emplea frecuentemente el hormigón de arena para el relleno de bóvedas; la pequeña dosis de cal que encierra, basta para agregar la arena y destruir los empujes que ejerce en todos sentidos, obteniéndose en definitiva un monolito, que no obra más que por su peso: suele asimismo usarse para cimientos de empedrados.

Se preparan también morteros débil ó medianamente hidráulicos, mezclando con la arena una pasta formada de cal grasa y cal muy hidráulica, en proporciones á propósito. Dan buen resultado, pero no son de aplicación frecuente.

Consistencia que deben tener los morteros.—Sobre la importante cuestión de la consistencia que han de tener las mezclas después de preparadas con pisón, máquinas ó batideras, nada puede añadirse á lo que se expresa en los renglones siguientes escritos por Vicat:

«El mortero hidráulico (1) debe batirse á cubierto cuando el tiempo está lluvioso y la arena mojada; en tal caso se toma sólo la mitad ó la tercera parte de la pasta ordinaria de cal que haya de emplearse, y se reemplaza la que falta con la misma cal apagada en polvo, á fin de que absorba el agua de la arena: sin esta precaución se obtendría un mortero deslavado.

»Si el tiempo es seco y caluroso, es indispensable, por el contrario, añadir agua, pero con precaución, porque basta muy poca para ahogar el mortero.

»Se insiste en estos detalles, porque la consistencia que se da á la mezcla al batirla, ejerce gran influencia en la dureza que llega á adquirir; en ningún caso se le debe dar el grado de blandura que tienen las papillas, aunque sean espesas; el mortero se ha de sostener en la paleta sin deprimirse demasiado: se llega á perder un 50 por 100 en la bondad de una fábrica expuesta al aire, si se emplea un mortero ahogado ó introducido á manera de inyección entre las piedras ó mampuestos de que aquella se compone; y un 50 por 100, si se trata de construcciones hidráulicas, que hayan de estar constantemente sumergidas.

»En el grado de consistencia que se prescribe, el mortero se em-

(1) Las mismas observaciones deben aplicarse á los morteros de cal grasa.

plearía muy mal con materiales absorbentes y muy secos, como el drillo: es preciso tener á aquellos completamente empapados hasta momento de sentarlos; deben, si se puede decir así, *sudar agua.* secreto de una buena fábrica se encierra en este precepto: *morte consistentes y materiales mojados,* que es, como se ve, lo contrario como lo entienden los albañiles, que parece que han tomado por nc ma trabajar con *materiales secos y morteros líquidos.*»

Cuando la mezcla tiene la conveniente consistencia para emplearl se dice que está *encerada.*

Endurecimiento de los morteros.—Los morteros fragua por las mismas causas físicas y químicas, que las cales que entr en su composición. La principal de aquellas es la desecación de pasta de cal, que sólo se efectúa en las fábricas expuestas al aire no debajo del agua: otra causa física es la considerable adherenci que se establece entre la arena y la pasta.

Respecto á las reacciones químicas que se producen, depende como es natural, de la clase de cales y de los medios en que está colocados los morteros. Los de cal grasa, cuando tiene acceso el air atmosférico, se van endureciendo, del exterior al interior, por la for mación del hidrocarbonato cálcico, en que se convierte la cal á me dida que absorbe la humedad y anhidrido carbónico del aire. Est acción es muy lenta; basta, para convencerse de ello, consignar e hecho de que el general Treussart encontró en Estrasburgo el añ 1822, al demoler un bastión construído en 1666, que el morter estaba en el interior de la fábrica tan blando y fresco, como si se hubiera empleado pocos días antes. La carbonatación marcha mucho más de prisa cuando la construcción en que se ha usado el mortero tiene poco espesor; así como en el caso excepcional de que la fábrica se halle en un sitio húmedo y muy cargado de anhidrido carbónico, como se ha comprobado al derribar los muros de los sótanos de algunas casas viejas. Estas ligeras consideraciones justifican la exactitud que tiene el dicho vulgar de los albañiles franceses de que *á los cien años el mortero ordinario es un niño.* El fraguado de estas mezclas se acelera á veces, añadiéndoles un poco de cal viva pulverizada ó de cal á medio apagar; ésta se hidrata por completo, absorbiendo el agua del mortero, cuyo endurecimiento se efectúa en pocos minutos, pero la coherencia es muy poco estable. El mortero

tiende á hacerse pulverulento y debe proscribirse en absoluto semejante medio.

En cuanto á los morteros de cal hidráulica, podrán endurecerse algo, si están expuestos al aire atmosférico, por la desecación de la pasta y la carbonatación lenta de una parte de la cal libre; pero la principal causa del fraguado, y la única, cuando las mezclas están sumergidas en el agua, parece ser la formación y cristalización de hidrosilicatos é hidroaluminatos cálcicos, como con todo detalle se ha explicado ya. Por regla general, los buenos morteros hidráulicos introducidos en agua dulce ó salada, si ésta no los ataca, alcanzan su cohesión máxima al cabo de tres años, pero los progresos rápidos se verifican en los seis primeros meses.

Cualidades que adquieren los morteros endurecidos.—Los morteros expuestos al aire, al secarse, se contraen; pero la contracción es tanto menor cuanto menos grasa sea la cal y menos agua y más arena haya en la pasta. Así se explica que en los morteros sujetos á las influencias atmosféricas sea conveniente forzar la dosis de arena; que al aire libre tengan mejor éxito las argamasas hidráulicas que las grasas, y que estas últimas den resultados mucho más favorables en los sitios bajos y algo húmedos, que en las partes elevadas, en que la desecación es activa.

Por otra parte, se sabe que la cal se adhiere fuertemente á los granos de arena. Su adherencia es aún más marcada con los materiales principales de las fábricas: en las juntas, al secarse el mortero, tiende á concentrarse, pero el movimiento se ve contrariado por su cohesión con las piedras, resultando desgarros interiores y una desagregación parcial, tanto más acentuada cuanto más grasa es la cal y menor la proporción de arena. Los morteros hidráulicos sumergidos, no sufren la contracción debida á la desecación, y no se descomponen.

Las heladas tienen también influencia en los morteros. Vicat ha hecho constar que cuando están las mezclas bastante endurecidas, la mayor parte resisten perfectamente á la acción del hielo; pero que cuando no han fraguado, se desagregan con prontitud. Estos hechos se explican observando que las heladas no actúan más que sobre uno de los elementos de las mezclas, el agua, cuya cantidad va disminuyendo con el tiempo. De todos modos, conviene no batir ni

emplear las argamasas, durante los frios rigurosos del invierno.

No se hablará de la acción del agua del mar en los morteros, porque se estudia con todo detalle en el curso de *Puertos y demás obras marítimas*.

Resistencia de los morteros á la tracción.—La cohesión ó resistencia de los morteros á la tracción, se ha determinado experimentalmente por Vicat, que ha sacado las consecuencias siguientes: 1.ª, que la resistencia á que llegan los morteros de cal grasa en las casas ordinarias, varía, por centímetro cuadrado, de 1kg.,25 á 2 kilogramos en las partes elevadas sobre el suelo y constantemente á cubierto; 2.ª, que la resistencia de los morteros de cales débilmente hidráulicas, en fábricas expuestas á la intemperie, varía de 5 á 7 kilogramos; 3.ª, que en los morteros medianamente hidráulicos, oscila, en las mismas condiciones, entre 7 y 9 kilogramos; 4.ª, que en los morteros de cales arcillosas eminentemente hidráulicas, también en aquellas circunstancias, varía la resistencia de 10 á 15 kilogramos; y 5.ª, que sube de 15 á 17, cuando en las cales eminentemente hidráulicas domina la sílice. La cohesión de los morteros hidráulicos sumergidos disminuye en un 30 á 40 por 100.

El mismo Vicat ha ensayado morteros de monumentos romanos, encontrándolos, por término medio, menos resistentes que los que hoy se usan, circunstancia muy digna de tenerse en cuenta para saber que no hay razón seria para admirarse ciegamente de la excelencia de las argamasas romanas. Y asimismo conviene hacer constar que el empleo de los morteros ordinarios es tan antiguo y tan pequeñas las modificaciones que en su composición y manipulación se han introducido, que la mezcla usada en las Pirámides de Egipto, y sobre todo en la de Cheops, construída más de dos mil años antes de Jesucristo, es completamente semejante á las que en la actualidad se fabrican en Europa.

Resistencia de los morteros al aplastamiento.—Las resistencias al aplastamiento que llegan á adquirir, por centímetro cuadrado, los morteros de diferentes clases, se dedujeron también por Vicat, que obtuvo los términos medios siguientes:

Morteros de cal grasa......................	19	kilogramos.
Idem de cales hidráulicas ordinarias..........	74	—
Idem de cales eminentemente hidráulicas.......	144	—

MORTEROS DE CEMENTO ROMANO.

Objeto de la arena y proporciones en que entra.—Los cementos romanos se emplean rara vez simplemente amasados con agua; casi siempre se les añade arena, que no tiene por objeto disminuir, como en los morteros de cal, los efectos de la contracción de la pasta, pues la de cemento, sólo experimenta alguna reducción de volumen en el momento de prepararla. Con la adición de la arena se logra economizar cemento y hacer menos fácil la formación de grietas en los morteros endurecidos y expuestos al aire; pero si esto se consigue es á expensas de la resistencia, que mengua á medida que crecen las dosis de arena.

La cantidad de agua necesaria varía para cada cemento, y conviene fijarla experimentalmente en los diversos casos. Con el cemento francés de Vassy, puede graduarse en medio volumen de agua, por uno de cemento, las proporciones adecuadas; de los ensayos hechos en las obras del Canal de Isabel II por el Inspector general del Cuerpo, D. José Morer, resulta que un metro cúbico de cemento de Zumaya debe batirse con 575 kilogramos de agua.

La cantidad de arena varía asimismo con los resultados que se desee obtener. El cuadro siguiente marca la composición que puede darse á varios morteros de cemento; es el mismo publicado por Claudel para los de cemento de Vassy, y se puede aplicar á los de Zumaya, por ser casi idénticas las densidades de ambos productos:

Núms. de orden.	Relación del volumen de cemento al de arena.	Volúmenes de arena. — *Metros cúbicos.*	Peso de cemento. — *Kilogramos.*	OBSERVACIÓN.
1	1 á 0	0,00	1.204	Las proporciones estampadas en este cuadro, son las necesarias para obtener un metro cúbico de mortero.
2	3 á 1	0,35	928	
3	2 á 1	0,46	843	
4	3 á 2	0,55	771	
5	1 á 1	0,70	651	
6	2 á 3	0,84	530	
7	1 á 2	0,98	451	
8	1 á 2,5	1,00	390	
9	1 á 3	1,00	300	
10	1 á 3,5	1,00	258	
11	1 á 4	1,00	235	
12	1 á 4,5	1,00	205	
13	1 á 5	1,00	185	

El mortero núm. 1, es decir, el de cemento puro, se emplea tan sólo para atajar filtraciones ó fugas de agua; los números 2, 3, 4 y 5, para enlucidos de acueductos, algibes, depósitos, etc., en los que se exige mucha adherencia é impermeabilidad; los números 6, 7 y 8, para retundidos de juntas de todas clases, y para las obras que hayan de estar expuestas á las influencias atmosféricas; los números 9 y 10, para las bóvedas, muros y macizos que puedan aguardar el completo fraguado de los morteros antes de estar sometidos á fuertes presiones, ó para las obras en que no se necesite una impermeabilidad total; los números 11, 12 y 13, aunque muy inferiores á los precedentes, tanto por su adherencia como por su permeabilidad, se pueden utilizar para rellenos y construcción de macizos.

Además de las aplicaciones que se han citado, los cementos romanos se emplean para la construcción de tubos de conducción de agua y gas, y para cornisas y molduras de las edificaciones urbanas; la propiedad que tienen de aumentar algo de volumen al fraguar, lo contrario de lo que sucede con los morteros grasos é hidráulicos ordinarios, los hacen muy á propósito para estos fines. La resistencia y la dureza de los cementos romanos permiten también que se construyan losas con aquel material, que se usan á veces para aceras.

El tamaño de la arena puede variar, según sea el objeto á que se destine el cemento, desde la fina, que es la adecuada para enlucidos, hasta la gravilla, que puede adoptarse para pavimentos.

Preparación de los morteros de cemento.—Como estas mezclas fraguan con extraordinaria rapidez, hay que prepararlas en cortísimas cantidades y á medida que se van á poner en obra: no son, por consiguiente, aplicables los procedimientos que pronto se darán á conocer para la fabricación de los morteros en general, y es preciso consagrar aquí á este asunto breves palabras.

El batimiento se hace de ordinario en artesas ó cuezos, como los que se emplean en el trabajo del yeso: se echan primero la arena y el cemento en las proporciones convenientes, mezclándolos en seco, y en seguida se añade poco á poco el agua, removiendo la masa con la paleta. Á veces se hace la manipulación en una mesa con rebordes.

Durante la amasadura, la pasta de cemento puro se contrae algún tanto; la diminución de volumen es variable con la naturaleza de los cementos, pero en los más comunmente empleados en Francia, la contracción se puede estimar en un 17 por 100; en otros términos, un metro cúbico de cemento, medido sin comprimirlo al salir del envase, sólo produce $0^{m3},85$ de pasta, circunstancia que ha de tenerse presente al graduar las dosis de cemento y arena. Sin embargo, la contracción parece que es bastante mayor en el cemento de Zumaya, pues de los ensayos hechos por el Inspector Sr. Morer, resulta que amasando un metro cúbico de cemento sin asentar, con 375 kilogramos de agua, sólo se obtienen $0^{m3},71$ de mortero.

Endurecimiento de los morteros.—Fácil es prever que el fraguado de estos morteros, se debe exclusivamente á las reacciones químicas producidas por los elementos que entran en la substancia activa, esto es, en el cemento. Se sabe asimismo que es preciso para que el fraguado no sea instantáneo, emplear cementos fríos, es decir, que no estén recién salidos del horno y que se hallen un poco aireados, aunque no con exceso, porque en tal caso obran como puzolanas. Por consiguiente, la rapidez del fraguado será distinta, no sólo de un cemento á otro, sino en un mismo producto, según las circunstancias en que se encuentre; por lo general, el tiempo necesario para el endurecimiento varía de un cuarto de hora á dos horas, adquiriendo entonces próximamente $^1/_5$ de su dureza definitiva, á la que llega á los doce ó diez y ocho meses, creciendo muy de prisa en los primeros y con gran lentitud en los últimos. Claro

es que los números consignados no son más que términos medios; pronto se verán los resultados obtenidos con el cemento de Zumaya.

Cualidades que adquieren los morteros de cemento después de fraguar.—Los morteros de cemento no se contraen al fraguar, como los de cales; por el contrario, se entumecen ligeramente, á la manera de los de yeso. Por consiguiénte, las pastas hechas con estos cementos son compactas é impermeables, siempre que no sean demasiado áridas, esto es, siempre que contengan cantidad suficiente de cemento para llenar todos los huecos de la arena; así, de los 13 morteros cuya composición figura en el cuadro inserto en este mismo artículo, serán impermeables los marcados con los 8 primeros números, pero no los 5 restantes.

Los morteros de cemento endurecidos tienen una solidez análoga á la de las piedras de construcción.

Sucede muchas veces que la desecación agrieta estos morteros; lo que se explica, porque el exceso de humedad que tiene la pasta se abre salida á través de la superficie, que, endurecida ya, forma una especie de costra; un efecto semejante produce la congelación del agua. Las grietas adquieren más importancia por la mala costumbre de los albañiles de bruñir fuertemente la superficie con la paleta, en vez de comprimirla.

Los morteros de cemento parece que experimentan dilatación sensible, con las variaciones de temperatura: las piezas muy largas, como los tubos de conducción, se rompen á menudo, por efecto de los fríos intensos. Tanto este inconveniente, como el indicado en el párrafo que antecede, se remedian, en parte, forzando la cantidad de arena en los morteros: pero así se disminuye su cohesión, porque el cemento se adhiere mal á la arena y es preciso amasarlo con más agua, lo que perjudica á su resistencia, que parece se reduce á la mitad, cuando el cemento se deslíe en mucha agua ó cuando se emplea en inyección, presentando entonces una estructura porosa y permeable.

Los cementos romanos no ofrecen, en opinión de Vicat, garantías sólidas de duración más que cuando se usan debajo del agua ó en lugares constantemente húmedos; en esas circunstancias, adquieren en pocos meses una dureza á que no llegan, en idénticas condiciones, sino al cabo de un año ó año y medio, los mejores morteros de cales hidráulicas.

Por las dificultades señaladas y por los obstáculos que la excesiva rapidez con que fraguan los cementos romanos produce para su empleo, hay una tendencia manifiesta á reemplazarlos con el Portland, ó sea con los cementos que se endurecen con lentitud.

Resistencia de los morteros de cemento romano á la tracción.—Para comparar las resistencias á la tracción de los morteros de cemento romano con los de Portland, se habrá de decir algo, más adelante, acerca de las deducidas para el cemento de Vassy. Bastará, por ahora, dar cuenta de los experimentos hechos con el de Zumaya.

Los ensayos verificados por los Ingenieros de Puentes y calzadas, en 1878, con morteros compuestos de volúmenes iguales de arena y cemento, dieron los siguientes resultados:

Tiempo transcurrido después de emplear el mortero.	Resistencias por cm². *Kilogramos.*
6 horas.................	3,6
24 idem.................	5,5
8 días.................	9,0
15 idem.................	10,0

Con cemento puro sumergido se han determinado recientemente en la fábrica de Gurruchaga, las cargas de rotura por tracción: se consignan aquí con tanta más confianza, cuanto que se diferencian muy poco de las encontradas en el puerto de Socoa (Francia), donde se prueban todos los cargamentos antes de emplearlos (1).

Tiempo transcurrido después de emplear el cemento.	Resistencias por cm². *Kilogramos.*
24 horas.................	6
8 días.................	11
15 idem.................	12
2 meses.................	15
2 años.................	17

(1) Los números que aparecen en el estado son, sin embargo, algo menores que los deducidos por el Ingeniero del Cuerpo, D. Fernando García Arenal, que se darán á conocer al hablar de los morteros de Portland.

Resistencia de los morteros de cemento romano al aplastamiento.—De los ensayos efectuados por Gariel y Garnier, resulta que bloques de cemento puro de Vassy, expuestos al aire libre por más de dos años, podían sufrir sin aplastarse, cargas variables de 121 á 197 kilogramos, por centímetro cuadrado: como término medio, puede adoptarse la presión de 150 kilogramos.

Couche ha obtenido para carga de rotura por aplastamiento, en morteros compuestos de volúmenes iguales de arena y del mismo cemento de Vassy, la de 156 kilogramos, también por centímetro cuadrado.

Morteros de cal grasa y cemento.—Se obtienen excelentes morteros hidráulicos, mezclando con los ordinarios de cal grasa, cantidades de cemento romano, que suelen variar de la mitad á la décima parte del volumen de pasta de cal que éntre en la argamasa común. Muchos, la mayor parte de los autores franceses, proscriben este sistema, por más que algunos, en estos últimos años, empiezan á mirarlo con menos prevención. Apenas habrá Ingeniero en España que no lo haya usado, convenciéndose de la bondad de los resultados, aun en obras delicadas, como son, por lo general, todas las hidráulicas. No se debería insistir sobre el particular, porque los hechos demostrados por la experiencia constituyen leyes supremas en materia de construcción; pero bueno será hacer ver que la práctica, en este caso, está absolutamente conforme con la teoría admitida. En efecto, según se ha visto, la diferencia esencial que separa á las cales hidráulicas de los cementos, es que, existiendo en ambos productos la sílice y la alúmina de la arcilla primitiva, en estado de combinaciones atacables por reactivos enérgicos, en los primeros hay además cal libre; pues bien, es claro á todas luces que si á un cemento se le añade cal grasa, se le convierte en una substancia que encierra todos los elementos de las cales hidráulicas ordinarias.

La cantidad de cal grasa que convendrá agregar, dependerá de la naturaleza del cemento y de la clase de producto que se quiera obtener, pues que, regulando acertadamente las proporciones, podrán prepararse morteros de una energía determinada. Nada hay que decir del fraguado, de las propiedades ni de las resistencias de estas argamasas, porque se aplica á ellas cuanto se ha expuesto respecto á las hidráulicas.

Bastará hacer ligeras indicaciones sobre el modo de prepararlas. Pudiera incorporarse el cemento á la pasta de cal, dejar reposar un dia la mezcla y batirla luego con la arena, por los procedimientos ordinarios; pero así se correría el riesgo de que fraguara alguna parte del cemento antes de que se emplease el mortero. Por esta razón es preferible fabricar primero la argamasa común de cal grasa, con la sola precaución de batirla un poco clara, y en seguida, operando en pequeñas porciones, agregar la cantidad de cemento que corresponda, verificando la mezcla á brazo ó mecánicamente, aunque es más recomendable aquel medio, sobre todo si la dosis de cemento es de alguna entidad.

MORTEROS DE CEMENTO DE PORTLAND.

Ventajas de estos morteros.—Las propiedades bien conocidas del cemento de Portland lo hacen por todo extremo á propósito para una infinidad de aplicaciones, pues reune las ventajas de los cementos romanos, sin presentar sus inconvenientes: tan sólo habrá que dar la preferencia á aquellos en los casos excepcionales en que se requiera un fraguado casi instantáneo. Las principales ventajas que ofrece el Portland para la fabricación de morteros, son las siguientes:

1.ª Tarda en fraguar de media á diez y ocho horas, pero aquel período se refiere sólo á los cementos muy vivos recién salidos del horno: por regla general, puede admitirse que el Portland se endurece en *dos horas,* como tiempo mínimo, y en *seis* ú *ocho,* por término medio. El batimiento y el empleo en obra se pueden hacer, por tanto, en las mismas condiciones que cuando se trata de morteros de cal, y sin precaución especial de ningún género.

2.ª Adquiere en poco tiempo una gran solidez, aun cuando se mezcle con proporciones considerables de arena. En la fábrica de los estribos del puente de San Miguel, ha empleado Vaudrey, con excelente éxito, un mortero compuesto de un metro cúbico de arena, 250 kilogramos de cemento (próximamente $0^{m^3},19$) y 125 litros de agua, no llegando, por consiguiente, el volumen de Portland á la quinta parte del de arena. En las obras en que la compacidad sea un

elemento esencial, como sucede en las marítimas, hay que forzar la dosis de cemento; así en el puerto del Hâvre se ha preparado el mortero con un metro cúbico de arena, 400 kilogramos de cemento ($0^{m^3},50$) y 240 litros de agua: este mortero, aunque á primera vista no lo parezca, resultó perfectamente impermeable, lo que se debe á la contracción que experimenta la arena, durante la amasadura. La pasta de Portland no es grasa y untuosa como la de cal; al batir el mortero, los granos de arena pueden moverse en la pasta de cemento como en el agua pura, resultando alguna contracción en el volumen de arena, y necesitándose á veces más de un metro cúbico de este material para formar igual cantidad de mortero. La contracción, que debe tenerse siempre presente en los cálculos, es tanto mayor cuanto más se prolongue la manipulación de los morteros: varía también con las dosis en que entren los ingredientes, de manera que conviene deducirla experimentalmente en cada caso. Sin embargo, podrá ser útil el siguiente cuadro que resume los ensayos hechos sobre este particular, por el Sr. Voisin, Ingeniero Jefe de Puentes y calzadas.

Volúmenes.			
Arena.	Cemento.	Agua.	Mortero resultante.
1	1,00	0,62	1,69
1	0,50	0,43	1,24
1	0,33	0,38	1,12
1	0,25	0,35	1,05
1	0,20	0,34	1,00
1	0,17	0,32	0,96

La contracción definitiva no depende sólo de que disminuyan los huecos entre los granos de arena, sino de que al formar la pasta de cemento puro mengua también el volumen de la masa, en una proporción que se diferencia poco de la señalada para los cementos romanos.

3.ª El cemento de Portland puede amasarse con mayor cantidad de agua que los de fraguado rápido. Para éstos se ha visto que, como término medio, debe emplearse un volumen de agua por dos de cemento molido. Se ha indicado antes que la dosis de agua admitida en el Hâvre ha sido la de 60 por 100, con relación al volumen de cemento y de 80 por 100 con relación al peso. En los morteros estudiados por Voisin, las proporciones de agua, respecto al volumen de Portland, varían de 0,62 á 1,88. Según Leblanc, que ha hecho detenidos ensayos con estos cementos, los morteros que contienen 2,5 volúmenes de cemento, por 10 de arena, dan los mejores resultados cuando se amasan con 2,7 volúmenes de agua, lo que equivale á 1,10 de líquido por 1 en volumen de cemento, ó bien á 815 litros de agua, por tonelada de cemento, suponiendo á éste una densidad de 1,35.

4.ª Los enlucidos de Portland tienden menos á agrietarse por la desecación que los de cemento romano.

5.ª Según el referido Leblanc, otra de las notables ventajas de las mezclas de Portland es que no las destruyen las heladas; por manera que las fábricas en que se empleen pueden ejecutarse, en casos urgentes, en riguroso invierno.

6.ª Puede exigirse que el Portland tenga una composición química constante, lo que no sucede con los cementos romanos, que proceden siempre de la calcinación directa de calizas, que es imposible presenten una homogeneidad absoluta en todos los bancos de la cantera.

Composición de los morteros de Portland.—Aunque en lo que antecede se ha dicho ya algo de las dosis en que suelen entrar el cemento y la arena en los morteros de Portland, conviene conocer la composición de algunos, que han dado excelentes resultados en obras importantes. Constan en el siguiente cuadro tomado de la obra de Debauve sobre *Exécution des travaux*.

DESIGNACIÓN DE LAS OBRAS.	Volúmenes de arena. — *Mets. cúbs.*	Volúmenes de cal hidráulica. — *Mets. cúbs.*	Peso de cemento — *Kilogramos*	OBSERVACIONES.
Puentes de París.				
Bóvedas............	0,90	»	450	Cantidades necesarias para formar un metro cúbico de mortero.
Macizos............	0,90	»	350	
Obras marítimas en Honfleur.				
Juntas y enlucidos...	1,00	»	520	Se admitía la contracción de $^1/_5$ para el volumen total de las materias mezcladas.
Fábrica de ladrillos en paramento.........	1,00	»	433	
Mamposterías ordinarias...............	1,00	»	325	
Viaductos del ferro-carril de Nantes á Châteaulin.				
Mamposterías expuestas al mar.........	0,90	»	450	Cantidades necesarias para formar un metro cúbico de mortero.
Pilas...............	0,90	0,30	200	
Bóvedas............	0,90	0,34	150	

Debe proscribirse, á juicio de Leblanc, el empleo de la arena fina, usándose la gruesa, y aun mejor la gravilla, para la preparación de los morteros de Portland muy áridos, esto es, muy cargados de aquel ingrediente; en los demás no es tan importante la elección de arena, pero siempre hay alguna ventaja en que sea de grano grueso.

Influencia de la densidad en la calidad de los morteros de Portland.—Al comenzar la fabricación de los cementos de Portland, no pesaban éstos más que de 1.100 á 1.200 kilogramos por metro cúbico, pero la experiencia ha demostrado que el *cemento pesado*, esto es, el que pesa 1.500 kilogramos, da morteros cuya resistencia excede en un 50 por 100 á la de los preparados con cemento ligero. Esta consideración, que no deja de ser aplicable también á los cementos romanos, explica la tendencia constante, en estos últimos tiempos, á dar *en peso* las proporciones de los cementos que han de entrar en las mezclas.

Endurecimiento de los morteros de Portland.—La arena no ejerce acción alguna, de suerte que la teoría del fraguado de estos morteros, es la misma que se admite para el cemento de que se componen. Los morteros de Portland, como los de cemento romano, aumentan de dureza con rapidez en los seis primeros meses, siguen endureciéndose luego con lentitud, quizá pierden después algo de su cohesión, como pronto se verá, y es probable que adquieran el máximo definitivo de resistencia á los dos ó tres años.

Los cementos puros y los morteros se endurecen más debajo del agua que al aire libre; sin embargo, la resistencia, que es superior al cabo de cierto tiempo en las partes sumergidas, es menor en los primeros días, que cuando las mezclas están expuestas al exterior.

La temperatura del medio en que está colocado el cemento influye también en su resistencia. Está demostrado que el frío retarda el fraguado, y que al mismo tiempo disminuye su resistencia, ó más bien retrasa la época de llegar á su máximo, pues resulta de ensayos efectuados por Béthencourt, que el máximo es más elevado cuando el cemento se ha puesto en obra á una temperatura baja.

Resistencia de los morteros de Portland á la tracción.—Muchos ensayos se han hecho sobre la resistencia de estos morteros á la tracción. Las cargas medias de rotura de las pastas formadas de cemento puro, se consignan en el cuadro siguiente:

Número de días después del empleo.	Resistencias por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
5	8 á 12
15	15 á 20
30	20 á 25

La resistencia aumenta algún tanto con el tiempo, pero después parece que disminuye un poco hasta alcanzar el máximo definitivo, que nunca ha de contarse con que pase de 22 á 25 kilogramos, por centímetro cuadrado: así á lo menos se deduce de los experimentos hechos, durante muchos años, en la fábrica de Boulogne-sur-mer. Estos resultados son, sin embargo, menos favorables á la resistencia,

que los obtenidos por el Ingeniero D. Fernando García Arenal, que ha verificado ensayos en el puerto de Gijón, para comparar los cementos de Portland ingleses y alemanes entre sí y con el cemento de Zumaya. Los números deducidos se consignan en el siguiente cuadro, en el cual, y en la casilla de *residuos del cernido*, se estampan los que dejaron 10 litros de los diversos cementos, al pasarlos por un cedazo de 900 mallas en centímetro cuadrado:

DESIGNACIÓN DE LOS CEMENTOS.	COMPOSICIÓN DE LA PASTA. Cemento. — *Litros.*	Agua. — *Litros.*	Tiempo transcurrido después de la inmersión.	Resistencia por centímetro cuadrado — *Kilogramos.*	Residuo del cernido. — *Litros.*
Portland inglés (Wouldhan).........	1	1	1 día...	16,87	1,38
			7 días..	29,75	
			3 meses.	35,18	
			6 id....	38,15	
			1 año...	48,25	
Idem alemán (Stettín).	1	0,8	1 día...	31,32	0,80
			7 días..	38,43	
			3 meses.	44,45	
			6 id....	47,16	
			1 año...	50,60	
Cemento de Zumaya..	1	1,3	1 día...	6,21	3,48
			7 días..	7,50	
			3 meses.	16,29	
			6 id....	18,28	
			1 año...	20,65	
Idem id. (otro ejemplar)..............	1	1,3	7 días..	15,85	3,40
			3 meses.	19,95	
			6 id....	21,64	
			1 año...	20,29	

Los morteros de Portland tienen, por lo general, una cohesión bastante menor que la pasta de cemento puro, como puede verse en el cuadro siguiente, formado por Darcel, en que se comparan además las resistencias á la tracción de los morteros de Portland y de los de cemento romano de Vassy:

Proporción en volumen de arena por un volumen de cemento.	RESISTENCIA POR CENTÍMETRO CUADRADO. MORTERO DE CEMENTO. De Portland. — *Kilogramos.*	Romano. — *Kilogramos.*	PESO DE CEMENTO EN POLVO, POR METRO CÚBICO DE MORTERO. CEMENTO. De Portland, de densidad = 1,4. — *Kilogramos.*	Romano, de densidad = 1,1. — *Kilogramos.*
0	20,0	10,0	1.400	1.100
1	20,0	10,0	830	660
2	14,0	8,0	565	446
3	11,5	6,5	456	355
4	10,0	5,6	350	275
5	9,0	4,7	280	220
6	8,2	4,0	233	183
7	7,5	3,0	200	157
8	7,0	2,5	175	139
9	6,5	1,8	156	122
10	6,0	»	140	110

Del examen del estado precedente, resulta: 1.°, que Darcel no ha tenido en cuenta la contracción que experimentan las pastas, y que, por consiguiente, en la práctica habrá que forzar los pesos que se expresan para obtener un metro cúbico de mezcla; 2.°, que tanto con los cementos de Portland como con los romanos, se alcanzan resistencias iguales, empleándolos solos ó con un volumen de arena igual al suyo; 3.°, que, como ya se ha indicado antes, á medida que aumenta la dosis de arena disminuye con bastante rapidez la resistencia de los morteros; y 4.°, que, á igualdad de volúmenes de arena, son mucho más coherentes las mezclas de Portland que las de cemento romano, hasta el punto que un mortero compuesto de un metro cúbico de arena y 550 kilogramos de Portland ($0^{m3},25$), tiene tanta resistencia como el formado de volúmenes iguales ($0^{m3},60$) de arena y cemento romano, en el que entrarían, de consiguiente, 660 kilogramos de cemento.

La adherencia del Portland á las piedras y á los otros materiales semejantes, es muy considerable. No se conoce su valor numérico, pero un experimento repetido muchas veces, ha hecho ver que el Portland amasado con consistencia adecuada y colocado entre dos ladrillos, contrae pronto con ellos tal cohesión, que, cuando se trata de

separarlos por tracción, la rotura no se hace por la unión de los ladrillos y el cemento, sino por el espesor de éste ó por el cuerpo de uno de aquellos.

Resistencia de los morteros de Portland al aplastamiento.—Se han hecho pocos ensayos sobre la resistencia de estos morteros al aplastamiento. De algunos verificados en la fábrica de Boulogne-sur-mer, se deduce que puede considerarse como siete veces mayor que la carga de rotura por tracción, para las pastas de cemento puro, y como cinco veces para los morteros.

Esta ley no puede aplicarse de una manera general; á lo sumo será exacta, dentro de ciertos límites de tiempo (dos ó tres meses), porque parece que la resistencia al aplastamiento crece indefinidamente, al paso que la que las mezclas oponen á la tracción llega á un máximo absoluto y decrece luego hasta alcanzar el definitivo.

Morteros de cales ordinarias y Portland.—Lo que se ha dicho ya respecto á los morteros de cal grasa y cemento romano, puede aplicarse á los formados con aquella y Portland: el buen resultado es aún más seguro, porque no hay que temer que durante la preparación fragüe total ni parcialmente el cemento. En las obras del viaducto de Orsay, el Ingeniero Malibran obtuvo excelentes mezclas, agregando al metro cúbico de mortero de cal grasa, 100 kilogramos de Portland (0^{m^3},07, suponiendo que la densidad sea 1,4), pero esta proporción puede bajar bastante si no se necesitan morteros muy hidráulicos; así, añadiendo á una argamasa compuesta de un volumen de cal por dos de arena, una cantidad de Portland igual á la décima parte del volumen de pasta de cal, es decir, 0^{m^3},045, ó sean 60 kilogramos, por metro cúbico de mortero ordinario, se preparará una mezcla muy á propósito para multitud de aplicaciones.

También se usan morteros de Portland y cal hidráulica; en este mismo artículo se han dado á conocer las composiciones de los empleados en las fábricas de las pilas y de las bóvedas de los grandes viaductos del ferrocarril de Nantes á Châteaulin. En dichos morteros el volumen de cemento era próximamente el $^1/_2$ ó el $^1/_3$ del de pasta de cal. Como las cales hidráulicas tienen cal libre, se comprende que la teoría de estas mezclas es la misma que la explicada para las de cal grasa y cemento.

Fraguando el Portland con lentitud, se pueden batir los morteros por los procedimientos ordinarios, incorporando el cemento á la pasta de cal; pero también se puede preparar primero la argamasa común ó hidráulica, dejándola un poco clara para que, al batirla con el Portland, quede con el enceramiento conveniente.

Condiciones que deben exigirse para la recepción del Portland.—Tienen hoy tanto interés los cementos de fraguado lento, que parece oportuno transcribir los requisitos á que ha de satisfacer este material, según las condiciones facultativas aprobadas en Francia por las administraciones de Marina y de Puentes y calzadas.

1.° La densidad mínima ha de ser 1,2, es decir, que el metro cúbico de Portland, medido en cajones en que se le haga caer lentamente y sin sacudimiento, ha de pesar como mínimo 1.200 kilogramos. Sin embargo, en la actualidad es común fijar el mínimo en 1.350. Á veces los pliegos de condiciones establecen también un máximo, con objeto de no exagerar el peso necesario de cemento para obtener una compacidad determinada en los morteros: de no tomar esta precaución, se corre el riesgo de que el cemento sea demasiado pesado y se eleve sensiblemente el precio de las mezclas, puesto que las fábricas venden siempre el Portland al peso. Otra razón que abona la fijación de un máximo, es que la mayor densidad se obtiene haciendo más enérgica la cochura, y podría suceder que ésta hubiera sido exagerada, obteniéndose fragmentos demasiado fríos y quizá inertes. El peso máximo prefijado suele ser de 1.450 kilogramos, por metro cúbico de cemento sin comprimir, ó de 1.750, cuando se mide muy comprimido.

2.° El cemento debe estar perfectamente molido, no dejando un residuo que llegue al 10 por 100 de su peso, cuando se le haga pasar por un cedazo de tela metálica que tenga 185 claros por decímetro de longitud.

3.° El Portland ha de tardar en fraguar más de dos horas y menos de diez. Se considera que ha fraguado el cemento sumergido, cuando la superficie de la pasta sostiene sin deprimirse aparentemente una aguja de sección cuadrada, de 1^{mm},5 de lado, que lleva en uno de sus extremos una carga de 1.430 gramos. La presión á que así se somete la pasta es de 65^{kg},55, por centímetro cuadrado.

4.° La composición química del Portland ha de ser constante,

no pasando de 1 por 100 la dosis de sulfato cálcico, ó de 0,6 por 100 la de ácido sulfúrico.

5.° El cemento puro y el mortero han de resistir convenientemente á la tracción, prescribiéndose que se harán ensayos con las mezclas, preparadas éstas en forma de panes ó adoquines. Las resistencias que exigen varios pliegos de condiciones, son las que se consignan á continuación:

Designación.	Tiempo transcurrido.	Resistencias por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Cemento puro......	2 días.	4
	5 id.	10
	30 id.	20
Mortero...........	5 id.	4
	45 id.	9 á 12

PASTAS PUZOLÁNICAS.

Composición de las pastas puzolánicas.—Estos morteros se componen siempre de dos elementos esenciales, que son puzolana natural ó artificial y pasta de cal; esta última es indispensable porque las puzolanas no contienen los elementos necesarios para fraguar; encierran sílice y alúmina atacables, pero nunca la cal que se requiere para formar silicatos y aluminatos cálcicos, en suficiente cantidad para determinar el endurecimiento, pues si la contuvieran serían verdaderos cementos. Otra substancia, la arena, entra algunas veces en las pastas que se examinan: por regla general, sólo se recurre á ella por razones de economía.

Las proporciones en que han de entrar las materias constitutivas varían entre límites muy extensos, y dependen de la calidad de aquellas y de la clase de mortero que se quiera preparar. De los experimentos de Vicat resulta que cuando las pastas se han de sumergir en agua dulce, es á propósito la cantidad de 18 kilogramos de cal viva grasa, por 100 de puzolana, compuesta de 64 partes de sílice por

56 de alúmina: cuando la puzolana contenga substancias inertes, será fácil deducir, conocida la análisis química, la cantidad de cal que corresponda á los principios activos de la roca que se considere. De todos modos, estas dosis deben acogerse con reserva, recurriendo siempre á la fijación experimental.

Si la cal que ha de entrar en la pasta es hidráulica, las proporciones dependen entonces, no sólo de la energía de la puzolana, sino de la hidraulicidad de la cal. Cree Vicat, si bien su opinión no parece bastante fundada, que la cantidad de cal hidráulica que deberá entrar en la pasta, habrá de ser por lo menos doble de la de cal grasa que se admitiría, á igualdad de todas las demás circunstancias.

Como las pastas puzolánicas sólo se emplean, en grandes volúmenes, para obras que hayan de estar debajo del agua, ó en sitios muy húmedos, no hay que temer los efectos de la desecación de la pasta de cal; así es que la arena, que se agrega en muchos casos, no puede tener más objeto que hacer bajar el coste de las mezclas. Es cierto que así disminuye la cohesión, pero hay que considerar, como atinadamente dice Hervé Mangon, que «no es la resistencia absoluta de un mortero lo que más debe preocupar al Ingeniero: la rapidez del fraguado; las dificultades de fabricación, y sobre todo el precio, tienen casi siempre para él mayor importancia. En la ejecución de una obra, no se trata nunca de obtener mezclas de resistencia máxima, sino de suficiente cohesión y al menor precio posible.»

Preparación y fraguado de las pastas puzolánicas.—«Siendo la cohesión de toda pasta puzolánica,» dice Vicat, «el resultado de una combinación, es evidente que se favorecerá: 1.°, por la división física de las substancias, prolongada mecánicamente hasta donde se pueda llegar; 2.°, por el contacto íntimo de los ingredientes, consecuencia de una buena manipulación; 3.°, por la presencia continua de la humedad, sin la cual no podrían obrar las afinidades. Por tanto, la cal apagada en balsas será preferible á la apagada por inmersión, y la puzolana en polvo impalpable á la que sea del tamaño de la arena. Para formarse idea de la influencia del grado de división, bastará saber que las cohesiones finales de las pastas están en la relación de los números 90, 60 y 40, según que las partículas de puzolana sean polvo impalpable, del tamaño de la arena gruesa ó del de los granos de la pólvora de cañón.»

Las pastas de puzolana natural ó artificial, ó de polvos de ladrillo ó teja, y ya se emplee ó no arena, se baten exactamente del mismo modo que los morteros ordinarios.

El fraguado de las pastas puzolánicas se explica por consideraciones teóricas, que ya se expusieron, y que son idénticas á las que se admiten para darse cuenta del endurecimiento de los morteros hidráulicos ordinarios y también de los compuestos de cal grasa y cementos.

Resistencia de las pastas puzolánicas.—Afirma Claudel que las pastas puzolánicas, sin mezcla de arena, adquieren, después de estar dos meses sumergidas en agua dulce, la mitad de su cohesión definitiva, á la que llegan en un plazo variable de uno á tres años. Esta cohesión depende de la calidad de los ingredientes y del esmero con que se hayan confeccionado las pastas; rara vez excede de 15 kilogramos por centímetro cuadrado, y suele no pasar de 5.

No se insistirá más en el estudio de estas pastas, que desde que se usan cales hidráulicas han perdido la inmensa importancia que tenían. En tiempo de la república y del imperio de Roma, no se empleaba más cal que la grasa y todos los morteros hidráulicos se preparaban añadiendo á aquella substancia roca puzolánica: hoy el uso de estas mezclas es muy limitado y sólo conservan importancia en algunas regiones de Europa, que se indicaron al hablar de las puzolanas naturales.

HORMIGONES.

Definición y aplicaciones.—El *hormigón*, llamado también *nuégado* y *derretido de piedras,* es una fábrica que no se diferencia de la de mampostería más que en el tamaño de los materiales y en la manera de ejecutarla: en lugar de los mampuestos ordinarios, se emplea grava ó piedra partida, cuya dimensión máxima no excede en ningún caso de $0^m,06$ ó $0^m,07$; y en vez de sentar las piedras una por una sobre baño de mortero, se hace la mezcla de los materiales aparte, ya á brazo, ya con máquina. Preparado el hormigón, se echa directamente con la pala, con carretillas ó con cajones, según los casos, en los moldes ó en las zanjas que lo han de recibir;

se comprime y se consigue hacer con capas sucesivas, que se sueldan entre sí, grandes macizos, por encima ó por debajo de las aguas, sobre los cuales pueden ejecutarse las construcciones más pesadas; así se cimientan todos los días obras importantísimas, como puentes, muelles, esclusas, faros, etc., etc. Colocando el hormigón en cajones de madera, de paredes móviles, y procediendo del mismo modo que para la construcción de macizos, se obtienen bloques artificiales, cuyo volumen varía de 10 á 50 metros cúbicos, y con los cuales se hacen escolleras bastante sólidas para resistir á la violencia del mar y para proteger los diques de los puertos, así como los faros y las fortificaciones elevadas en islotes sumergibles. También se moldean con hormigón grandes piezas, que tienen la apariencia y producen los mismos efectos que monolitos: como ejemplo de estas construcciones, se pueden citar en España las bóvedas de varios puentes de la provincia de Logroño, que proyectó y llevó á cabo el malogrado Ingeniero Jefe del Cuerpo, D. Ricardo Bellsolá, y cuya descripción detallada consta en la *Revista de Obras públicas*. No se limitan las aplicaciones del hormigón á las que se han indicado: se ejecutan con esta clase de fábrica las capuchinas ó chapas impermeables, que se colocan encima de las bóvedas; los solados, que requieren mucha dureza é impermeabilidad, etc., etc. En Madrid se ensayó hace algunos años la construcción de aceras con un hormigón, que llamaban *betún plástico*, y que estaba compuesto de mortero de Portland y piedrecillas menudas.

Elementos constitutivos de los hormigones.—Los elementos constitutivos de los hormigones, son los morteros y las piedras.

Todos los morteros estudiados, ya sean de cal grasa ó hidráulica, ya de cemento romano ó de Portland, ya de cemento y cal, ya de puzolana, se aplican para la fabricación de hormigones. Claro es que cuando éstos tengan que sumergirse en el agua, el mortero habrá de ser hidráulico, eligiéndolo de la clase que, en atención á las circunstancias locales, sea más adecuada; pero en los cimientos en terreno seco ó poco húmedo, podrá emplearse la mezcla de cal grasa y arena. Á veces los morteros comunes se reemplazan con betunes asfálticos y resinosos ó con otras substancias, que oportunamente se indicarán.

El segundo elemento es la piedra, que también se suele reemplazar con otras materias, entre las que conviene citar, por su frecuente aplicación en Madrid, los fragmentos de ladrillos que se han vitrificado demasiado en el horno, y que se llaman *santos*. La naturaleza de la piedra parece que no tiene influencia en la calidad del hormigón; por mucho tiempo se ha creído que era indispensable que la piedra estuviese partida ó machacada para que, presentando aristas vivas, trabase mejor con el mortero; pero en la actualidad se preparan hormigones excelentes con grava ó cantos rodados, y aun en algunos casos especiales, como cuando se usa mortero de Portland, se deduce de los ensayos de Leblanc, que producen mejores resultados las formas redondeadas que las angulosas, explicándolo por la circunstancia de que las primeras facilitan el deslizamiento de unos materiales sobre otros, remediando algún tanto la falta de untuosidad del Portland.

El tamaño de las piedras depende principalmente del objeto á que se destine el hormigón: si se trata de construir macizos voluminosos, no hay ningún interés en que los cantos sean menudos, y puede adoptarse sin inconveniente la dimensión máxima de $0^m,06$ ó $0^m,07$; en construcciones de poco espesor, se adopta la de $0^m,04$ ó 0^m05; y para bóvedas, chapas y solados, no debe pasar de $0^m,025$ á $0^m,03$. En resumen, el tamaño de los cantos es variable, y oscila su mayor dimensión entre $2\ ^1/_2$ y 7 centímetros.

En una misma fábrica de hormigón, se debe procurar que las piedras sean de igual magnitud, pues así traban mejor las capas y se construye una masa más homogénea. También debe cuidarse de que la piedra esté limpia de substancias térreas ó arcillosas; por no dar importancia á esta condición, se han solido fabricar hormigones detestables. Para limpiar la piedra se la coloca en carretillas de fondo calado y se riega con mucha agua: si no se tienen á mano carretillas de esta especie, se ponen las piedras en espuertas que los operarios introducen en un depósito de agua, agitándolas en el interior hasta que los guijarros queden limpios.

Proporciones en que han de entrar el mortero y la piedra.—La proporción de mortero se determina del mismo modo que la de cal en las argamasas. Hay interés en forzar las dosis de piedra y en economizar el mortero, que es siempre más caro; pero,

por otra parte, para que el hormigón sea compacto es preciso que, por lo menos, llene el mortero los huecos de las piedras.

De los experimentos de Boisvillette y Hirsch, resulta que para la piedra machacada al tamaño de $0^m,04$ ó de $0^m,07$, los huecos son iguales á los macizos, es decir, que representan el 50 por 100 del volumen; para la grava gruesa, la relación se reduce á 0,45 y para la menuda á 0,38. Por consiguiente, las composiciones de un metro cúbico de hormigón, en que el mortero llene exactamente los huecos de las piedras, serán las siguientes:

$0^{m^3},50$ de mortero y un metro cúbico de piedra machacada, ó
$0^{m^3},38$ á $0^{m^3},45$ de mortero y un metro cúbico de cantos rodados.

La primera se ha empleado para los bloques artificiales hechos con cal de Theil en Marsella, Tolón y Argel, y para multitud de cimientos y rellenos. Á veces se disminuye la cantidad de mortero, llegando á reducirlo á un volumen por 5 de piedra, obteniéndose así hormigones más ó menos áridos, en que no están llenos todos los huecos, pero que presentan suficiente compacidad para la construcción de ciertos macizos. Por el contrario, cuando los hormigones se han de sumergir en el agua, se deslavan y es preciso forzar la proporción de mortero, que llega á veces á mezclarse con la piedra en volúmenes iguales. El cuadro siguiente contiene la composición de varios hormigones, que se usan con frecuencia; se ha formado suponiendo que la piedra esté partida, y que, por tanto, sean idénticos los volúmenes de huecos y de macizos: si se empleasen cantos rodados debería disminuirse la cantidad de mortero en la relación que corresponda en cada caso. Se denominan hormigones *grasos* los que tienen mayor cantidad de mortero que el ordinario ó normal, cuyas proporciones se han expresado antes, y *áridos*, los que tienen menor volumen de mezcla.

CUADRO DE LAS PROPORCIONES DE MORTERO Y PIEDRA PARTIDA, QUE ENTRAN EN UN METRO CÚBICO DE ALGUNOS HORMIGONES (1).

Designación.	Relación entre los volúmenes de mortero y de piedra.	VOLÚMENES DE Mortero. — Metros cúbicos.	VOLÚMENES DE Piedra. — Metros cúbicos.
Hormigones grasos......	1 á 1	0,67	0,67
	3 á 5	0,55	0,91
	2 á 3	0,57	0,86
Idem ordinarios........	1 á 2	0,50	1,00
Idem áridos............	1 á 3	0,33	1,00
	1 á 4	0,25	1,00
	1 á 5	0,20	1,00

Resistencia del hormigón.—No se conocen experimentos especiales sobre la resistencia de los hormigones. Se admite que es igual á la de los morteros de que se componen, hipótesis justificada por el hecho de que la adherencia de la cal con la arena, y, por consiguiente, la del mortero con las piedras, es superior, en general, á la que presentan las mismas pastas.

Lechadas.—El empleo del hormigón, así como la acción que sobre él ejerce el agua del mar, salen fuera del programa de esta obra. Sin embargo, conviene hacer una observación. Por muchas que sean las precauciones que se tomen al sumergir el hormigón en los recintos que lo han de contener, se forma siempre cierta cantidad de materia llamada *lechada*, que ofrece muchos inconvenientes. Es una especie de cal desleída ó de cemento proveniente del mortero, que se mezcla con el fango arcilloso que tiene el agua en suspensión ó que está adherido á las piedras, y contrae con él, al parecer, una combinación química, que no está bien estudiada. Posee el aspecto de un precipitado lechoso, que se ve aparecer en el interior del líquido, en el momento que se echa el hormigón, y que se dirige lentamente hacia el fondo. La lechada no es hidráulica, permanece siempre blanda y fangosa, y se deposita en las desigualdades de las capas de hormigón ya colocadas, impidiendo que traben con las siguientes.

(1) Llamando $\frac{1}{m}$ la relación entre los volúmenes de mortero y de piedra; x el volumen del primer material, é y el del segundo, podrán calcularse estos números en los hormigones grasos y ordinarios por las fórmulas

$$x = \frac{2}{2+m} \text{ é } y = \frac{2m}{2+m},$$

suponiendo que los huecos que dejan entre sí las piedras sean iguales á los macizos. En el metro cúbico de hormigones áridos, entrará siempre un metro cúbico de piedra, y el volumen de mortero que corresponde al valor de la relación $\frac{1}{m}$.

En absoluto no se puede evitar la formación de las lechadas, pero es factible disminuir su importancia, empleando buenos métodos de inmersión y procurando darles salida, ya dejando intersticios en los recintos, por donde puedan escaparse, si el agua tiene algún movimiento; ya haciendo que se reunan en el fondo en un sumidero, de donde se extraen con el auxilio de una bomba.

Si el hormigón se aplica á obras marítimas, el agua salada parece que produce precipitaciones de sales que estaban disueltas y que aumentan la entidad de las lechadas, complicando aún más la explicación teórica de su formación.

BREVE RESEÑA DE OTRAS PIEDRAS ARTIFICIALES.

Aparte del hormigón, de que ya se ha hablado, y de los ladrillos, que son las piedras artificiales más usadas, hay otras que conviene conocer, algunas de las cuales han adquirido cierta importancia. No se hará de ellas un estudio detenido, pero sí se dirá algo de los *hormigones de arcilla,* de los *aglomerados de Coignet* y de las *piedras artificiales silicatadas.*

Hormigón de arcilla.—Mezclando 10 partes en volumen de pasta de cal, 45 de arena y 45 de arcilla, se obtiene una especie de hormigón, de mortero muy árido, y en que la piedra se reemplaza con arcilla. Este compuesto se deslava en el agua y no puede soportar esfuerzos considerables; pero sustituye con ventaja á la fábrica

de *tapial* (arcilla batida sin cocer) que tanto se usa en España, en Oriente, en la costa occidental de la América del Sur, y en general en climas secos y calurosos, para multitud de construcciones que no exijan gran resistencia.

Aglomerados de Coignet.—Estos compuestos, impropiamente llamados por su inventor *hormigones aglomerados*, hicieron mucho ruido al aparecer hacia el año 1858: con ellos se pretendía reemplazar, con notables ventajas y economía, todas ó casi todas las fábricas que se usan en la construcción, formando en unos casos verdaderos monolitos, y empleándolos en otros en forma de losas ó de bloques artificiales. Los buenos resultados que produjeron en Francia; el informe favorable de una comisión de Ingenieros de Puentes y calzadas, de la que fué secretario el ilustrado Hervé Mangon, que tantas veces se ha citado ya, explican que se recibieran los aglomerados de Coignet, como un descubrimiento notabilísimo, que había de producir una revolución en el arte de construir. Tan exagerada es esta opinión como la de negar toda importancia á estos productos. Antes de consignar las reflexiones que sugiere la invención, es preciso conocer la composición de los aglomerados, que varía bastante, según el objeto á que se destinen, pero de la cual da suficiente idea el siguiente cuadro, en que se especifican las proporciones de los ingredientes para diversos casos.

COMPOSICIÓN DE VARIOS AGLOMERADOS.

Designación de las obras en que han de emplearse los aglomerados.	Proporciones en volúmenes.						Observaciones.
	Arena	Cenizas de hulla: Trituradas.	Cenizas de hulla: Sin triturar.	Arcilla cocida.	Pasta de cal.	Cemento.	
Fábrica ordinaria para muros.	8	1	»	1	1	»	La cal es grasa ó hidráulica, según los casos.
Id. id. muy dura y de rápido endurecimiento. .	5 á 6	»	»	1	1	$^1/_4$ á $^1/_3$	La arena es de río ó de mina.
Molduras y jambas..........	3	1	»	1	1	»	La composición de los bloques es la de los ensayados en San Juan de Luz.
Losas artificiales...........	1	1	5	1	1 $^1/_2$	»	
Bloques id.....	7	»	»	»	1	$^1/_4$ á $^1/_2$	

Coignet tomaba en la preparación de sus aglomerados muchas precauciones: empleaba siempre la cal apagada en polvo, insistía en que se eliminase todo el exceso de agua de las mezclas y en que se batieran y comprimieran enérgicamente, verificándose la fabricación del aglomerado en amasaderas mecánicas, y apisonando luego el producto en moldes á propósito, muy semejantes, cuando se trata de construir muros, á los que se usan para la fabricación de tapiales. El secreto, en una palabra, se reduce á preparar una masa perfectamente compacta y sin huecos.

Los aglomerados fraguan, según resulta del informe de la comisión de Ingenieros, en cinco ó seis días, y la construcción de muros y bóvedas se hace con gran facilidad. Si se van á ejecutar, por ejemplo, las bóvedas de un sótano, se desmonta el terreno de suerte que su superficie presente la forma del intradós de los arcos, se apisona con esmero el aglomerado, por capas de 5 centímetros, y al cabo de algunos días se desmonta el terreno natural que ha servido de cimbra. Los aglomerados cuya densidad es de 2,085 á 2,548, presentan una resistencia al aplastamiento, que varía, al decir de Michelot, de 185 á 498 kilogramos por centímetro cuadrado.

Conocidos los hechos, su explicación es muy sencilla. Los aglomerados de Coignet se diferencian de los morteros de cal, ó de cal y cemento ordinarios: 1.°, en que son mucho más áridos; la relación del volumen de cal al de los aglomerados, cuya composición se ha consignado en el cuadro anterior, oscila entre $\frac{2}{11}$ y $\frac{1}{11}$; 2.°, en que no encierran ninguna agua en exceso; 3.°, en que se añaden á veces algunos cuerpos (cenizas de hulla, arcilla cocida, etc.) que no entran en las mezclas comunes; y 4.°, en que se baten y comprimen con más energía. Lo que á primera vista no se ve claro, es el papel que desempeñan las cenizas de carbón de piedra y la arcilla cocida; sin embargo, basta observar que ambas substancias se pueden considerar como puzolanas, para que se comprenda su objeto: parece que, en último resultado, los aglomerados de Coignet, son pastas puzolánicas, por más que lo niegue terminantemente el inventor. Según él, las cenizas de hulla, de turba ó de esquisto, la arcilla cocida, los polvos de ladrillo, las verdaderas puzolanas, pues todas estas materias propone para diversos casos, no se intro-

ducen en los aglomerados para conseguir un fraguado más rápido é intenso, sino para absorber el agua que puedan tener en exceso la pasta de cal y la arena. Difícil parece probar que las materias puzolánicas no ejerzan ninguna acción química y sí sólo la física de absorción; pero, sea como quiera, se deduce, en definitiva, que los trabajos realizados por Coignet, prueban que en los morteros y hormigones ordinarios se pueden introducir notables economías en los materiales más caros, que son las cales y los cementos, empleando muy poca agua, batiéndolos con gran esmero y sometiéndolos á una fuerte compresión. Esta consecuencia es importante y puede reportar utilidad no escasa en la práctica.

Por lo demás, los aglomerados se usan poco, dando la preferencia á los materiales naturales ó á los artificiales que están ya garantidos por una larguísima experiencia. En España se han construído algunas obras con aglomerados: podrían citarse ejemplos de muros de cerca, que han dado resultados excelentes; así como de afirmados, que bien sea por condiciones climatológicas ó por mala ejecución, se desagregaron bien pronto.

Piedras artificiales silicatadas.—Es común en la actualidad formar piedras artificiales cementando arena caliza, ó más bien gravilla, con un silicato alcalino, que se emplea en disolución: basta el enunciado para que se eche de ver la analogía, por no decir identidad, que hay entre este procedimiento y el de silicatación de Kulhmann para la conservación de piedras naturales. Es evidente que la composición de estos productos se parece mucho á la de las areniscas calizas, con las que se confunden por su aspecto. Varios enlosados de Madrid están construídos con esta clase de piedra artificial.

Fundándose en el mismo principio, se pueden fabricar losas ó sillares, aglutinando con el vidrio soluble substancias que no sean de base de cal, y provocando después las reacciones que determinan el endurecimiento, por la inmersión en una disolución de cloruro cálcico. Ransome es el inventor de este método, que ya se indicó al hablar de la silicatación de piedras no calizas.

FABRICACIÓN DE LOS MORTEROS DE CAL Y DE LOS HORMIGONES.

FABRICACIÓN DE MORTEROS.

La fabricación de los morteros tiene por objeto batir los elementos de que se componen, hasta que cada grano de arena quede envuelto por la cal. Según Vicat, sobre todo si se trata de cales hidráulicas, no debe ser excesivo el batimiento, pues, de otro modo, se produciría un principio de fraguado que alteraría las condiciones del mortero; y tratándose de mezclas hechas con cales grasas, nunca compensará la mayor bondad del mortero obtenido el aumento de trabajo y de gasto.

Las condiciones generales belgas para los trabajos ejecutados por los Ingenieros militares, prescribían que los morteros de cal grasa se batieran con tres días de anticipación, y que se volvieran á batir diariamente hasta el momento de emplearlos. Esta regla parece poco útil y hasta perjudicial en muchos casos, si se considera que gran parte de las cales grasas contienen cantidades apreciables de arcilla. En España, los buenos albañiles se limitan á preparar de antemano la pasta de cal, y no baten el mortero hasta el momento de emplearlo.

La fabricación de morteros y hormigones debe verificarse, como ya se ha indicado anteriormente, á cubierto, pues si el tiempo está muy húmedo se ahoga el mortero, y si se trata de hormigón se van descubriendo las piedras de que se compone, desapareciendo el mortero que las une. Si, por el contrario, el tiempo está demasiado seco, se evapora el agua del mortero y se reduce éste á polvo.

La mezcla de los materiales que entran en los morteros, se efectúa ordinariamente en barracas sencillas, que se demuelen después de concluídos los trabajos. Estas barracas deben ser bastante grandes para contener: 1.°, las cantidades de cal, cemento, puzolana, arena y demás elementos necesarios; 2.°, una área suficientemente extensa para operar el batimiento á brazo ó para colocar las máquinas que han de verificarlo; 3.° y último, una capacidad en que pueda almacenarse la pasta ó el mortero fabricado en tres días. En Bélgica, en

las obras bien organizadas, se divide esta última, por medio de tabiques de tablas, en 4 compartimientos iguales y de suficiente magnitud, para que quepa en cada uno el mortero necesario para el trabajo de un día. Durante los tres primeros, se llenan 3 compartimientos; el cuarto día se llena el último y se vuelve á batir el mortero del compartimiento núm. 1, empleándolo en seguida; el quinto día se llena de nuevo el núm. 1 y se vacía el segundo, y así sucesivamente: de esta manera se tiene la seguridad de que los morteros estén en igualdad de condiciones, durante toda la marcha de los trabajos.

La mezcla de las substancias que entran en los morteros puede efectuarse *á brazo* ó *mecánicamente*.

MANIPULACIÓN DE MORTEROS.

Se prepara una área bien plana, que se cubre con un solado de ladrillos, de losas ó de tablas, en que se echan los ingredientes que han de componer el mortero. En algunas ocasiones se coloca la arena en montón, de suerte que limite el espacio en que se va á manipular: la cal se reduce á pasta en la capacidad así determinada, y cuando está preparada aquella, los operarios la baten con la arena que constituía las paredes. Otras veces, la manipulación se efectúa en albercas de madera ó fábrica, cuyas dimensiones son muy variables.

Los albañiles se colocan en el perímetro del área ó de la alberca con *batideras* de hierro, y á veces de madera, provistas de mangos largos (fig. 39); con la parte convexa de la batidera, y yendo de la circunferencia al centro, comprimen la masa, de modo que se triture la mezcla, y luego, con la parte opuesta de la batidera y maniobrando en sentido contrario, atraen hacia sí la parte comprimida; poco á poco van cambiando de sitio, alrededor del espacio en que se trabaja, hasta conseguir que todas las partes del mortero queden bien mezcladas y trituradas. Se considera que el mortero está bien encerado cuando se sostiene en la paleta sin aplanarse sensiblemente, ó presenta la consistencia de la masa de pan antes de cocerse, y además, cuando no se pueden distinguir á simple vista los elementos que lo constituyen; si presenta puntos blancos llamados *palomas* ó *palomillas*, es indicio de que no se ha batido bastante.

En épocas calurosas, la cal en pasta se seca pronto y queda demasiado dura; los albañiles creen remediarlo añadiendo agua, pero esta operación es detestable y empeora siempre la calidad del mortero: en tal caso, se puede ablandar la pasta con un batimiento enérgico ó comprimiéndola con fuerza, por medio de pisones de madera, ó mejor aún, de hierro colado; es un trabajo suplementario, pero, gracias á él, se obtiene un buen mortero. En ciertas ocasiones, cuando está la arena demasiado seca, se riega con precaución.

Si la argamasa tiene mucha agua, conviene comprimirla con un pisón para aumentar su consistencia y poderla utilizar.

Algunas veces, en lugar de agitar la mezcla con batideras, los operarios la baten con los pies, después de introducirlos en un baño de alquitrán para preservarlos de la causticidad de la cal. Este método ofrece la ventaja de que es fácil reconocer por el tacto los huesos y fragmentos recocidos que contenga la mezcla, los cuales deberán separarse cuidadosamente.

Estos procedimientos son los que se usan con más frecuencia, pero en obras importantes cabe acudir á medios mecánicos para fabricar el mortero.

FABRICACIÓN MECÁNICA.

Para la fabricación mecánica de los morteros se usan máquinas muy diversas, que pueden clasificarse en tres grupos, á saber: *molinos*, *rastrillos* y *toneles amasadores:* se darán á conocer las principales de cada uno.

Molinos.—Son semejantes á los que usan en la fabricación de cales hidráulicas artificiales. Los hay de varias clases, pero bastará lescribir dos: el empleado en las fortificaciones de París, en tiempo le Luis Felipe, y el que se adoptó en las obras de las dársenas de Liverpool.

Molino de París.—El primero (fig. 40) se compone de una canal enlosada de forma anular, *a*, practicada en un macizo de fábrica, aligerado para disminuir su coste. La circunferencia exterior de esa canal tiene $2^{m},15$ de radio, y $1^{m},55$ la interior; su anchura es, pues, de $0^{m},60$. En el centro se eleva un pie derecho de madera, *b*, que termina por su parte superior en un gorrón, que recibe una cruz formada por dos pértigas de madera, *c*, *d*, de $0^{m},12$ á $0^{m},15$ de

diámetro, ensambladas en ángulo recto y reforzadas con cuatro tirantes, *e*.

De los cuatro brazos de las pértigas, hay tres que, á una distancia de cerca de un metro de su extremidad, están articulados, como representa el detalle *B*, con objeto de que, si al girar las ruedas que llevan las pértigas en sus extremos, encuentran algún obstáculo, puedan salvarlo con más facilidad sin que se rompa ninguna pieza. Las ruedas, *f*, son de carros ordinarios; tienen de $1^m,70$ á $1^m,90$ de diámetro, y las llantas de $0^m,10$ á $0^m,15$ de anchura; están colocadas á diferentes distancias del centro, de manera que ruede una de ellas por el borde interior de la canal, otra por el exterior, y la tercera por el centro, logrando así que se comprima toda la masa.

El cuarto brazo de la cruz, que no está articulado, lleva una horquilla (detalle *A*), para remover la masa triturada por las ruedas. Encima de las pértigas hay otra más larga, *h*, unida á las inferiores por muescas, y sostenida, además, por medio de tirantes de hierro, *i*; al girar esta pieza arrastra en su movimiento á las otras dos. En uno de los extremos de la pértiga, *h*, se engancha la caballería que pone en movimiento el molino; en el otro extremo se dispone una compuerta de madera (detalle *C*), que se puede subir ó bajar como convenga. Con objeto de que esta compuerta no aumente mucho los rozamientos, lleva una rueda, *n*, sobre la que descansa y que va rodando por el borde exterior de la canal. Para facilitar el servicio, se establece el molino en una pequeña escarpa, lo que permite construir una cámara solada, *O*, revestida de muros de piedra en seco, en la que, por una trampa, *P*, practicada en el fondo de la canal, cae el mortero ya preparado.

Para efectuar la operación se coloca en la canal la mezcla de arena, cal, cemento ó puzolana y agua, en las proporciones convenientes; se levanta la compuerta *C*, se engancha la caballería y se pone en movimiento la máquina. Cuando la mezcla y trituración han terminado, se baja la compuerta, se abre la trampilla, *P*, y el mortero, empujado por la compuerta, cae en la cámara *O*.

Con esta máquina se pueden batir de 20 á 25 metros cúbicos de mortero, en diez horas de trabajo.

Molino de Liverpool (fig. 41).—En este molino la trituración se efectúa por un medio análogo al precedente, pero las piezas que lo componen, se mueven de distinto modo. Las ruedas, que son de hierro colado, no tienen más que un movimiento de rotación alrededor de un árbol horizontal y fijo, *AB*. El espacio anular, de hierro fundido también, está unido á un vástago metálico, *C*, que puede girar sobre su eje, y que se pone en movimiento por una máquina de vapor, que actúa al mismo tiempo, en otros molinos de la misma especie. La operación se verifica como anteriormente, colocando en la canal los elementos necesarios para preparar el mortero y haciendo funcionar la máquina.

Modificaciones introducidas en los molinos.—Se han usado molinos con ruedas cónicas, que se mueven en una canal, de fondo también cónico (fig. 42), con objeto de que la masa descienda por su propio peso y quede siempre bajo las ruedas para que se comprima bien; pero no han producido mejor resultado que los molinos descritos.

Se podrían emplear para comprimir la masa ruedas cuyas llantas, de hierro forjado ó fundido, estuviesen agujereadas (fig. 43). Por esta disposición se obligaría á la mezcla á pasar por los orificios, haciéndole experimentar una gran división; pero estas ruedas no podrían aplicarse sino á obras de gran importancia, porque aumentan considerablemente los gastos de instalación.

Máquinas de rastrillo.—Perronet empleó en las notables construcciones dirigidas por él, una máquina perteneciente á este grupo.

Consiste en un macizo de fábrica (fig. 44), que forma una alberca ó depósito donde se echan la pasta de cal y la arena; en el centro se levanta un eje, alrededor del cual puede girar un bastidor de madera, al que va unido el rastrillo, formado de un gran número de púas de hierro. El bastidor termina en la parte superior en un larguero, al que se engancha la caballería, y de este modo, al ponerse en movimiento la máquina, las púas de hierro dividen y mezclan completamente la masa. Este procedimiento tiene gran analogía con el de la manipulación ordinaria, pues las púas desempeñan el mismo papel que las batideras.

Toneles amasadores.—Se describirán el de Bernard y el de Roger.

Tonel de Bernard.—En las obras de los puertos de Tolón y de Lo-

rient, se empleó por el Inspector general de Puentes y calzadas, señor Bernard, un tonel amasador (fig. 45), compuesto de una capacidad de hierro fundido ó de madera reforzada con aros de hierro, y de forma cónica ó cilíndrica: fijos á la pared interior del tonel y á diferentes distancias del fondo, están dispuestos, en sentido de los radios de las secciones rectas, varios rastrillos de hierro, armados de púas ó dientes. En el centro se eleva un eje, en el que van montados otros rastrillos móviles con él, armados también de dientes, y colocados de tal modo, que al girar el eje pasen por entre las púas de los rastrillos fijos, sin que se efectúe ningún choque. En la parte inferior del tonel, hay una abertura que puede cerrarse ó abrirse, por medio de una compuerta unida á una cremallera que engrana con un piñón. El eje lleva un larguero, que se mueve por hombres ó caballerías; también se puede aplicar el vapor si se quiere que funcionen á la vez varios toneles.

Para hacer el mortero, se echan por la parte superior los elementos que lo constituyen, y al caer se van mezclando por la acción que ejercen los dientes. Con un tonel movido por una caballería, se pueden obtener $2^{m^3},50$ de mortero, por hora de trabajo.

El inconveniente principal que presenta el aparato, consiste en que, como durante la operación se cierra la compuerta, á medida que avanzan la mezcla y trituración de las substancias, se comprime más el mortero en la parte inferior del tonel, y hay que desarrollar mayor esfuerzo, con peligro de romper el eje.

Tonel de Roger.—Este inconveniente lo ha remediado el Arquitecto Sr. Roger, con un aparato, que se empleó por primera vez en las obras del puerto de Argel.

Dos modificaciones principales distinguen la amasadera de Roger de la de Bernard.

La primera consiste en que el fondo, en vez de ser macizo, es calado; de esta manera el mortero encuentra salida y no se comprime y acumula en la parte opuesta á la abertura (fig. 46). Pudiera temerse que el mortero saliera del tonel sin estar bien batido; pero esto no sucede más que al empezar á usar la máquina, y puede evitarse tapando el fondo hasta que las capas inferiores estén completamente trabadas. Un industrial francés ha añadido otro detalle, que permite obtener morteros más ó menos encerados, y que consiste en tener diferentes fondos con calados de diversos tamaños para poderlos colocar según convenga.

La segunda modificación introducida por Roger hace que, no sólo se mezclen los elementos del mortero como sucede en el tonel de Bernard, sino que experimenten una trituración. Se consigue este resultado por medio de una pieza radiada de hierro fundido, que se une al eje en su parte inferior; el mortero cae debajo del triturador (fig. 46, detalle *B*), que lo comprime al girar.

Por lo demás, la planta, el alzado y el corte de la amasadera, así como el detalle *A*, que representa la proyección horizontal de los rastrillos montados en el eje, dan una idea cabal del aparato, que, en la esencia, es muy análogo al que antes se describió, pudiendo asimismo ponerse en movimiento por hombres, por caballerías, por el vapor ó por otro motor cualquiera.

Cuando se hace uso de materias muy pulverulentas, el resultado es casi el mismo en ambos toneles; pero cuando se emplean arenas arcillosas, el mortero hecho con el de Roger es de calidad superior al fabricado con el de Bernard. Ambos vienen á dar igual cantidad de mortero.

Forma teórica de los toneles.—La forma de los toneles amasadores es muy variable: los hay que tienen arriba la sección mayor; otros, por el contrario, ensanchan por la parte inferior. Para determinar lo más conveniente, es preciso considerar que la mezcla va experimentando, á medida que se forma el mortero, una disminución de volumen, lo que ocasionaría, si la sección transversal fuese constante, vacíos en la parte inferior y aglomeración de materias en la superior, que descenderían de repente, produciendo una irregularidad grande en la fabricación del mortero; por tanto, atendiendo sólo á esta circunstancia, la sección del tonel debería ser menor abajo que arriba. Pero, por otro lado, á medida que aumenta el batimiento del mortero, éste se comprime más y opone mayor resistencia al movimiento de los dientes; de modo que es preciso ejercer sobre el eje un esfuerzo más enérgico para hacerle girar, lo que indica la conveniencia de ensanchar el tonel por la parte inferior. Se deduce de estas dos observaciones, que la forma del aparato no deberá separarse mucho de la cilíndrica.

Si se quisiera determinarla con completa exactitud, se observa-

ría: 1.°, que las secciones del tonel deben estar en la misma relación que los volúmenes de mortero; representando, pues, por c y c' los círculos superior é inferior, y por v y v' los volúmenes de los materiales antes de hacer el mortero y después de hecho, se deberá verificar que $\frac{c'}{c} = \frac{v'}{v}$, de donde se obtiene $c' = c\frac{v'}{v}$; y como $\frac{v'}{v}$ es menor que la unidad, c' habría de ser menor que c: 2.°, que las secciones deben variar en la misma relación que las resistencias; por tanto, siendo R y R' respectivamente las opuestas al movimiento por los materiales y por el mortero, se tendrá $\frac{c'}{c} = \frac{R'}{R}$, de donde $c' = c\frac{R'}{R}$; y como $\frac{R'}{R}$ es mayor que 1, resultaría c' mayor que c. Haciendo $c' = c\frac{v' R'}{v R}$, se tendrán en cuenta ambas condiciones. La relación de los volúmenes es fácil de hallar experimentalmente, así como la que existe entre las resistencias. Claro es que sólo podrán recibir alguna aplicación estas consideraciones en obras de excepcional importancia.

La altura de los toneles es de una á dos veces el diámetro de la base. Si la altura es escasa, para que el mortero quede bien hecho, es preciso, cuando el fondo es calado, que los agujeros sean pequeños y produzcan una salida lenta; en los toneles del sistema de Bernard se debe cerrar por completo la compuerta, en cuyo caso aumenta el esfuerzo de tracción, á medida que se va fabricando el mortero. Si, por el contrario, la altura es excesiva, debe abrirse la compuerta del tonel de Bernard y poner al de Roger un fondo de claros grandes. Como resultado práctico, suele darse á los toneles una altura algo inferior á tres veces el radio de la base: $1^m,50$ de altura y $1^m,10$ de diámetro son dimensiones muy aceptables.

FABRICACIÓN DE HORMIGONES.

El hormigón, como se ha visto, es un material compuesto de piedra y mortero. La fabricación se reduce á hacer que la argamasa llene todos los huecos que dejan entre sí las piedras, y á impedir que

éstas se hallen en contacto directo. El hormigón puede hacerse *á brazo, en carretones ó á máquina.*

Manipulación del hormigón.—Para la manipulación del hormigón se comienza por establecer una área bien plana, que se cubre con ladrillos, tablones, losas, etc. En un extremo de esta área se ponen el mortero y la piedra, en las proporciones necesarias y por capas alternadas; los operarios se colocan en el lado opuesto, y por medio de una batidera con garfios de hierro, llamada *rastra* (fig. 47), efectúan la mezcla, atrayendo hacia sí una parte de las capas; van en seguida al otro costado y vuelven á atraer la mezcla que acaban de dejar, continuando así hasta que termina la operación. Uno ó más trabajadores van recogiendo y uniendo á la masa los materiales que se separen al verificar el batimiento.

También se han fabricado hormigones en que, sin preparar previamente el mortero, se mezclaban todos los elementos en seco, se echaba luego el agua y se batía toda la masa.

Finalmente, en España se ha seguido á veces otro procedimiento, que consiste en colocar en seco, en las zanjas de cimentación, todos los elementos del hormigón, sin el agua, se apisonaban y bastaba el agua, que afluía naturalmente del terreno, para formar un buen hormigón. Conviene acoger estas indicaciones con desconfianza.

Fabricación en carretones.—Puede fabricarse el hormigón por otro medio: á alguna distancia de la obra se preparan el mortero y la piedra y se colocan en carretones atravesados por un eje, que va unido á las ruedas y está armado en el interior de paletas de hierro, que se mueven al mismo tiempo que las rúedas, y que verifican la mezcla á la vez que se transportan los materiales.

Fabricación mecánica.—Las máquinas para fabricar hormigón son muy numerosas: las principales son las de *cajones*, las llamadas *hormigoneras* y las de *helicoide.*

MÁQUINA DE CAJONES.—La máquina de cajones es una de las más antiguas; se compone (fig. 48) de 8 á 10 capacidades de hierro, *A*, *B*, etc., que están montadas en una sólida armazón de madera, y de modo que cada cajón pueda girar alrededor de un eje horizontal: á cada capacidad va unida una pieza de madera, que es sobre la que se actúa para hacerla girar. Delante del aparato, hay una área plana, en la que se colocan los materiales mezclados por capas alterna-

das; con una pala se echan en el primer cajón; cuando está lleno, un operario lo hace girar y vuelca la mezcla en el segundo; del mismo modo se hace pasar del segundo al tercero, y así sucesivamente; al salir de la última caja, el hormigón está perfectamente mezclado, y convendrá, siempre que sea posible, disponer la máquina de modo que desde el último cajón, caiga directamente la masa en el sitio en que se haya de emplear: en caso contrario, se recogerá el hormigón en una área plana. El movimiento de los cajones es casi continuo: apenas uno se ha vaciado, cuando tiene que recibir el material del anterior. Diez hombres bastan para el manejo, y se obtienen de 50 á 45^{m^3} de hormigón, por cada diez horas de trabajo.

HORMIGONERAS.—Se describirán la de Krantz y la de Schlosser. La primera se empleó por primera vez en las obras del puerto de Argel. Es un aparato menos costoso y más sencillo que el de cajones: se compone (fig. 49) de una caja de madera, de forma de prisma rectangular, de 2 metros á 2^m,50 de altura, cuya sección tiene un metro de anchura y 0^m,80 de largo. Está abierta por la parte superior; tres de sus caras verticales están cerradas, y la otra tiene, en su parte inferior, una abertura de todo el ancho de la cara, y de 0^m,60 de altura, para que salga por ella el hormigón. En la parte superior hay un plano inclinado, por donde se echan los materiales, y además tiene dentro otros dos planos inclinados alternativamente en direcciones opuestas, de modo que los materiales al caer, se mezclan por la acción de los choques, y sale por la abertura el hormigón completamente formado. Tanto las paredes como los planos inclinados se hacen de tablones; los últimos suelen forrarse de chapa de hierro.

Para que se efectúe bien la operación, es preciso que el cajón esté lleno hasta los tres cuartos de su altura; en este estado, se echan por la parte superior el mortero y las piedras, en las proporciones convenientes; la presión producida por esta mezcla semifluida, hace que salga por la parte inferior el hormigón ya preparado. Por este procedimiento se obtienen muy buenos resultados, pudiéndose fabricar de 50 á 60 metros cúbicos diarios de hormigón; además reune las circunstancias de su poco coste y su sencillez, que permiten instalar el aparato en el momento que se necesite. Se han empleado también cajones completamente semejantes al descrito, con la única diferencia de tener 5, en vez de 5 planos inclinados.

La hormigonera que presenta mayores ventajas es la de Schlosser, que se usa hoy en las obras más importantes. Consiste en un tubo cilíndrico y vertical, de palastro grueso, que tiene 2 metros de altura y 0^m,50 de diámetro, y que lleva en su interior 25 hierros redondos de un centímetro de diámetro. Estos hierros están equidistantes, ocupan toda la altura del cilindro, y se colocan en la dirección de los diámetros de éste; en planta dividen á la base del cilindro en partes iguales, y están dispuestos de suerte que cada uno de ellos se proyecta horizontalmente en la bisectriz del ángulo formado por las proyecciones de los dos hierros inmediatos superiores. El tubo cilíndrico termina por abajo en un tronco de cono de 0^m,50 de alto, cuya base superior es igual á la de la hormigonera, y la inferior tiene 0^m,28 de diámetro. Esta base inferior lleva una puerta que se mueve en un plano perpendicular al eje y que puede abrirse ó cerrarse, según convenga. En la parte superior tiene el aparato tres ó cuatro argollas, de las que se le suspende á las vigas del suelo en que se miden y disponen los ingredientes. Esta hormigonera funciona lo mismo que la de Krantz; pero la carga del material preparado se facilita, pues todo se reduce á tener abierta la puerta hasta que se llene una carretilla colocada debajo; se cierra en seguida y se vuelve á abrir cuando se haya presentado otra.

MÁQUINA DE HELICOIDE.—La máquina de helicoide (fig. 50), sirve para fabricar hormigones con piedra menuda, pero puede también aplicarse para el batimiento de morteros de cal ó de cemento; la ideó Greveldinger.

En la parte superior tiene esta máquina una tolva, en la que se echan en seco las substancias, en las proporciones convenientes. En la parte inferior de la tolva, hay un cono que gira y que remueve y mezcla los ingredientes; en un costado, y á la altura del cono, va un disco que cierra la tolva y que se puede abrir total ó parcialmente, por medio de un piñón y de una cremallera. Por la abertura caen los materiales en un cono invertido, que los hace pasar á un cilindro horizontal, en cuyo interior y en toda su longitud se encuentra un helicoide, que gira por el mismo mecanismo que pone en movimiento el cono de la tolva.

En este cilindro, junto al sitio por donde caen los materiales, entra el agua necesaria por un tubo, que está en comunicación con un

depósito, en que el agua se encuentra siempre á un nivel invariable, para que el gasto de líquido sea constante: dicho tubo tiene una llave para dar ó cerrar el paso al agua, conforme se desee. Por medio del helicoide, que gira y que tiene además de trecho en trecho garfios de hierro, los materiales y el agua atraviesan todo el cilindro, se verifica su mezcla íntima y el hormigón ya formado sale por un agujero practicado en el extremo del aparato, recogiéndolo en cubos dispuestos en una plataforma, que se hace mover de suerte que cada cubo permanezca debajo de la abertura hasta que se llene.

Si el cilindro es muy grande, se produce la rotación del helicoide por el vapor; si es pequeño, á brazo, actuando en un manubrio.

Esta máquina se usó en las obras del alcantarillado del *boulevard* de Sebastopol, en París.

YESO.

Variedades.—El *yeso* es una substancia que sirve de base á otra clase de morteros de gran importancia en la construcción; se obtiene quemando ó calcinando una piedra natural, el *algez* ó *piedra de yeso,* que es un sulfato cálcico hidratado, que tiene por fórmula $\left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ H^2 \end{matrix}\right\} O^2 + 2\left(\left.\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\right\} O\right)$. Se encuentran en la naturaleza muchas variedades de piedra de yeso, que se estudian en el curso de Mineralogía, pero conviene recordar las siguientes: 1.ª, el *algez fibroso*, que abunda mucho en España, hallándose muy cerca de Madrid, en Vallecas, Vicálvaro y gran número de pueblos de la ribera del Tajo; de esta variedad se saca buen yeso para mezclas: 2.ª, el *espejuelo de asno*, compuesto de cristales voluminosos, que se pueden dividir en hojas delgadas y brillantes, y de suficientes dimensiones para sustituir en algunas localidades á los vidrios ordinarios; del espejuelo se extrae el mejor yeso para estucos y moldeo: 3.ª, el *yeso en flecha,* ó sea formando cristales hemitropos; se aplica para vaciar objetos muy delicados: 4.ª, el *algez sacarino*, que cuando es de grano muy fino y de color muy blanco, constituye el *alabastro yesoso*, con el que se hacen objetos de adorno; se diferencia del *alabastro calizo* ú *oriental*, en que es más ligero que él y no produce efervescencia con los ácidos; cuando la variedad sacarina, que abunda mucho, no tiene las condiciones del alabastro, se emplea como mineral de yeso; y 5.ª, el *algez compacto*, que se asemeja en su aspecto á la caliza de igual estructura, pero que es piedra poco común.

Anhidrita.—Se encuentra á veces el sulfato de calcio en estado anhidro, formando entonces la *anhidrita*: esta roca no reune las propiedades que, como luego se verá, determinan el uso del yeso en la preparación de morteros, pero como es bastante resistente, puede emplearse en mamposterías.

Propiedades del algez.—El algez contiene á menudo algunas cantidades de sílice gelatinosa y de caliza; estas substancias se cree que activan el fraguado del yeso, y á ellas se deben probablemente las excelentes condiciones del de Montmartre (Francia), que contiene hasta un 10 ó 12 por 100 de carbonato cálcico y algo de sílice. La piedra de yeso también puede encerrar algunas otras impurezas mezcladas mecánicamente, como arena, gravilla, etc., que se llaman *granzas*, y disminuyen el valor del yeso que de ella se extrae; tanto es así, que debe estipularse en los pliegos de condiciones el tanto por ciento máximo de granzas, que podrá contener aquel material, cuando no esté cernido; de ordinario se fija en Madrid el máximo en 8 por 100.

El sulfato calcico hidratado es soluble en el agua y le comunica propiedades perjudiciales; las aguas que han atravesado bancos de algez se llaman *selenitosas;* son indigestas y no sirven para la cochura de los alimentos ni para el lavado. Son además completamente inaceptables para la alimentación de las calderas de las máquinas de vapor, cuyas paredes llenan de incrustaciones, como se verá con detalle en la segunda parte de esta obra.

La solubilidad del sulfato de calcio hidratado, al contrario de lo que sucede con la generalidad de las substancias sólidas, no crece con la temperatura; á 12°, un litro de agua, disuelve 2gr.,33 de sal; á 35°, 2gr.,54, que es el máximo, y á 100°, 2gr.,17. Así es, que una agua selenitosa que se hace hervir, se enturbia, porque á 100° se precipita parte de la sal que contenía disuelta á una temperatura más baja.

El algez pierde su agua de cristalización á una temperatura de 120 á 130°; cuando se enfría tiende á recuperarla, apoderándose de la humedad del aire; el polvo de yeso, mezclado con agua, vuelve á hidratarse, se entumece y fragua; este fraguado se debe á la formación de una masa confusa de cristalitos, que se encajan unos en otros. Es preciso que la temperatura á que se someta al algez no pase de 160°, porque el yeso demasiado cocido, vuelve á hidratarse con lentitud extremada, y si se le ha sometido á la temperatura del calor rojo, se hace semejante á la anhidrita, dejando ya de hidratarse. Al rojo blanco se funde el yeso sin descomponerse.

Existen varios sistemas para cocer la piedra de yeso, pero todos ellos pueden clasificarse en dos grupos: la *cochura intermitente* y la *continua*.

Cochura intermitente.—Horno de campo.—El horno que se emplea de ordinario para quemar la piedra de yeso, es el llamado *horno de campo* (fig. 51); está cerrado con muros por tres lados únicamente, pudiendo ser descubierto ó cubierto; en este último caso, la cubierta está formada por un tejado sencillo, en que las tejas dejan paso, por numerosos intersticios, á los productos de la combustión. Con las piedras más gruesas se construyen bovedillas, sobre las cuales se van colocando, por orden de magnitud, los fragmentos, disponiendo los pedazos menores y el polvo en la parte superior. Debajo de las bóvedas se introducen haces de leña ó de ramaje, á que se prende fuego; la llama atraviesa la masa que se calienta poco á poco, perdiendo la cuarta parte de su peso, que es lo que representan próximamente el agua de cantera y la combinada. La operación dura de diez á quince horas, según el estado atmosférico, la calidad de la piedra y el combustible empleado. El yesero ejercitado reconoce, y esto es muy importante, el instante preciso en que ha terminado la cochura, por el aspecto del material y del humo. La cantidad de combustible necesaria, varía con la clase de leña que se emplee (1).

(1) De los experimentos hechos en las canteras de Chanteloup, se deduce que para obtener un metro cúbico de yeso se necesitan, por término medio, 211 kilogramos de haces de encina, 192 de abedul y castaño mezclados, y 135 de encina y carpe.

Cochura en hornos fijos.—El anterior es el horno más común; pero también se emplean los de hogar lateral ó central, análogos á los descritos para la cal, en los cuales se hace uso de combustibles de llama larga.

Cochura por capas.—Se puede también verificar la cochura del algez en montones formados de capas alternadas de piedra y de combustible de llama corta, por un procedimiento parecido al que se sigue para fabricar la cal; pero entonces el yeso sale mezclado con las cenizas y presenta un color obscuro, recibiendo el nombre de *yeso negro*, que sólo se emplea en obras que no hayan de quedar aparentes. El yeso negro tiene asimismo aplicación en la agricultura para abono de tierras pobres en cal.

Cochura continua.—Hornos ordinarios.—La cochura continua se efectúa en hornos semejantes á los de cal; la figura 52 representa uno de los establecidos en Montmartre.

Empleo del vapor.—Si se quiere obtener un yeso muy fino, se puede verificar la cocción por el vapor de agua, en un aparato (fig. 53) ideado por Violette, que, en esencia, consta de un generador de vapor y de tres tinas de fábrica unidas á aquel y entre sí, por medio de tubos provistos de llaves, que permiten abrir ó cerrar á voluntad las comunicaciones. Se hace entrar el vapor, después de pasar por un serpentín para que se eleve su temperatura, en la primera tina, que atraviesa, por ejemplo, de arriba á abajo. Se abre la comunicación de la primera tina con la segunda, á fin de que el vapor procedente de aquella recorra ésta y efectúe en ella un principio de cochura antes de salir á la atmósfera. Terminada la cocción en la primera tina, se cierra la comunicación con la segunda y con el generador; se hace llegar directamente el vapor á la segunda, desde la cual pasa á la tercera, y desde ésta al exterior. Mientras tanto se puede vaciar el primer depósito y llenarlo de nuevo, obteniéndose así un yeso bastante bueno y muy blanco, con suma facilidad y economía, y en grandes cantidades.

Cochura en hornos helicoidales.—Se efectúa también una cochura muy uniforme, empleando un tostador de helicoide, cuya inclinación y velocidad se calculan de modo que la piedra se cueza al recorrer el cilindro, que se calienta por la parte exterior.

Carga de los hornos y molienda del yeso.—Cualquiera

que sea el procedimiento que se siga, la carga en un horno de yeso debe arreglarse, para obtener resultados homogéneos, como indique la experiencia en cada caso. Los diferentes bancos de piedra dan efectivamente productos muy distintos; pero con mezclas bien dispuestas, se puede preparar yeso excelente.

Extraído del horno, se muele el yeso; en explotaciones de escasa entidad, se efectúa la operación por medio de mazas ó almadenas; pero en la fabricación en grande escala, se emplean molinos de ruedas verticales, parecidos á los usados para batir los morteros: después de molido suele cernerse el yeso. Esta substancia se expende en sacos de fácil manejo y de una cabida de unos 25 á 40 litros; el yeso blanco, cuya densidad es de 1,20 á 1,27, se vende en Madrid en costales de 4 arrobas de peso (46 kilogramos), que vienen á tener un volumen de 57 litros.

APLICACIONES DEL YESO.

Morteros y enlucidos.—El yeso en polvo mezclado con agua y reducido al estado de papilla, fragua al poco tiempo y cristaliza en masa; para conseguir buen resultado, es preciso mezclar, aproximadamente, volúmenes iguales de yeso y agua (1): se echa primero el agua en un cubo, artesa ó cuezo de madera, y se amasa con la mano y una raedera, ó con una paleta, que conviene sea de cobre, y no de hierro, para impedir la oxidación. Con la proporción media de agua indicada, se obtiene una mezcla espesa, que fragua con rapidez y que hay que emplear en seguida. Amasado con más líquido, el yeso absorbe $^1/_8$ menos de agua, tarda más en fraguar y su resistencia disminuye mucho. El yeso en estado de lechada es poco resistente y se debe desechar como mortero; pero para enlucidos ó blanqueos, se emplea con preferencia á la cal en muchas localidades.

Sucede á veces que el yeso se ha aireado, es decir, que ha absorbido humedad: entonces, al amasarlo, se forma una mezcla pulverulenta que no fragua, mientras que el yeso bueno da una pasta untuosa, que no se desagrega entre los dedos. Antes de recibir este material en una obra cualquiera, conviene ensayarlo, amasando una pequeña cantidad.

(1) De los experimentos de Claudel resulta: 1.°, que el yeso bien cocido y cribado, destinado á enlucidos, debe amasarse con 30 litros de agua, por 25 de material; 2.°, que el yeso bueno ordinario y que se emplea en morteros ó guarnecidos, debe mezclarse con 18 litros de agua, también por 25 de yeso.

El yeso se puede conservar en barriles herméticamente cerrados, ó en montones colocados en una era bien seca y regados en su superficie, de modo que se cubran de una capa sólida que proteja la masa de la acción del aire húmedo.

El yeso se dilata al fraguar, aumentando su volumen próximamente en $^1/_5$ (1); á esa propiedad debe sus excelentes aplicaciones como mortero, pues rellena con exactitud todos los vacíos que quedan entre los materiales: sin embargo, no puede emplearse más que al abrigo de las lluvias ó de la humedad, porque el agua lo disuelve poco á poco. En los casos en que sea un inconveniente el aumento de volumen del yeso, puede anularse mezclándolo con una pequeña cantidad de cal, que por su contracción compense el entumecimiento de aquel; por lo general, lo que se hace es amasar el yeso con una lechada de cal, operación que aumenta su resistencia. Debe emplearse con mucha parsimonia la arena en los morteros de yeso, tanto porque no existe la razón principal que determina su aplicación en los de cal, como porque la arena disminuye mucho la cohesión de estos morteros.

El cuadro siguiente contiene los números admitidos comunmente para medir la resistencia del yeso, según que se amase con agua ó con lechada de cal, espeso ó claro y solo ó con arena.

(1) Según Claudel, un metro cúbico de yeso en polvo produce $1^{m^3},18$ de mortero en el primer instante de su solidificación, y el entumecimiento es de 1 por 100 más á las veinticuatro horas de emplearlo. El aumento de volumen lo explica por la circunstancia de ser tan rápida la cristalización, que las moléculas no tienen tiempo para colocarse formando una masa compacta.

DESIGNACIÓN DE LAS MEZCLAS.	RESISTENCIA POR CENTÍMETRO CUADRADO — Á la tracción. Kilogramos.	RESISTENCIA POR CENTÍMETRO CUADRADO — Al aplastamiento. Kilogramos.	OBSERVACIONES.
Yeso amasado con agua...	»	50	Experimentos de Rondelet.
Idem id. con lechada de cal.	»	72	
Idem id. espeso..........	11,7	90	Las resistencias á la tracción se determinaron por Rondelet, y las al aplastamiento por Vicat.
Idem id. claro............	4	42	
Idem id. sin arena........	15	»	Experimentos de Vicat.
Idem id. con 1 $^1/_2$ volumen de arena fina...........	6	»	
Idem id. con 1 $^1/_2$ volumen de arena gruesa........	4	»	
Idem id. con 1 $^1/_2$ volumen de gravilla.............	3	»	

Tabiques y bóvedas.—Se fabrican en París y empiezan á usarse en Madrid, tabiques enteros de yeso; en España se construyen además bóvedas de ladrillo y mortero de yeso, con las que se salvan luces considerables, aumentando el ancho de las crujías, que de otro modo está limitado por las dimensiones corrientes de las vigas. Las *bóvedas tabicadas*, presentan el inconveniente de su difícil construcción; sin embargo, en ciertas localidades, y sobre todo en las provincias de Levante y Mediodía, merced á una larga práctica, han adquirido los albañiles gran destreza en la ejecución de esta clase de fábrica, cuyo estudio no es de este lugar.

Estucos.—Estuco de yeso.—El yeso amasado con cola, bruñido y adornado con vetas de colores, constituye el *estuco de yeso*. La *cola fuerte* ó *gelatina*, con que se amasa, se extrae de las materias animales, fundándose en la propiedad que tiene de ser soluble en el agua. Para obtenerla, se someten músculos, cartílagos, pieles, etc., á la acción del agua hirviendo en una caldera; se trasvasa el líquido, y por su evaporación se obtiene la gelatina, que después de secarla sobre redes de bramante, se expende en el comercio con el nombre de *cola*. Casi siempre contiene impurezas, que provienen de que la gelatina va acompañada de algunas otras substancias

solubles en el agua; la cola que se emplee en estucos ha de ser de las más puras é incoloras, como la llamada *de Flandes*, que se extrae de pieles de animales monteses; la *de pescado*, que se fabrica con las vejigas natatorias de algunas especies de esturiones, ó la de *retazos*, que procede de recortaduras de baldés, ó sea de pieles á propósito para hacer guantes.

Si se quiere estucar un muro, se toma yeso espejuelo de primera calidad, se muele en un mortero y se pasa á través de un tamiz de seda muy fino; se amasa en seguida con una disolución, ni muy floja ni muy fuerte, de gelatina, y se extiende con igualdad sobre el muro, previamente guarnecido y enlucido con yeso blanco, comprimiendo el estuco con la llana. Cuando está bien seco, se apomaza, se frota después con trípoli y un pedazo de fieltro, y se acaba de sacar el lustre pasando una muñeca mojada en agua de jabón, al principio, y al fin, en aceite solo. Para que el estuco no quede mate, es preciso frotar sin interrupción hasta obtener el brillo; debe asimismo cuidarse de que la superficie del muro sea bien plana, pues las menores desigualdades quedan muy visibles con el pulimento.

El estuco de yeso, llamado en España *escayola*, tiene la apariencia del mármol, sobre todo si se figuran vetas de diversos colores, lo que se consigue agregando á la pasta óxidos metálicos ú otras substancias colorantes: así se logra imitar los mármoles, hasta tal punto, que se necesita tocar las superficies estucadas, que no producen sensación de frío, para distinguir la naturaleza del material.

Los estucos de yeso no pueden aplicarse más que en el interior de habitaciones y en parajes secos.

Estuco de cal.—Para el exterior se emplea un *estuco de cal*, del que se dirán breves palabras, aunque parezca que no es este el sitio más adecuado. Sin embargo, tanto porque en este nuevo estuco suele entrar el alabastro yesoso, como para dejar completo el estudio de estos enlucidos, se dará á conocer el modo de prepararlo. El estuco de cal se hace con una mezcla de cal muy bien cocida y blanca, y de mármol blanco ó de alabastro de yeso en polvo muy fino, pasado por tamiz de seda. Conviene apagar la cal por inmersión y molerla sobre mármol como se hace con los colores. Después de cuatro ó cinco meses de apagada, se mezcla la cal con partes iguales de polvo

de mármol ó de alabastro, sin añadir agua, y se muele hasta que la mezcla sea íntima.

La pasta, así preparada, se aplica sobre un enlucido bien plano y perfectamente seco. Se moja primero el enlucido hasta que no admita más agua; entonces se da con una brocha una mano ligera de estuco desleído en agua; en fin, con una espátula ó una llana se aplica una mano de estuco duro. Á medida que el estuco se seca y endurece, se pule, frotándolo con un trapo mojado algo basto y con bruñidores de acero, ó bien con la parte carnosa del dedo en las molduras ó en los relieves. Se puede colorar este estuco del mismo modo que el anterior.

Moldeo.—El yeso fino de superior calidad se emplea para vaciar figuras, medallas, estatuas, bustos, y en general, para reproducir las formas de aquellos objetos de que se desee tener gran número de ejemplares. Se prepara primero el molde en que ha de vaciarse la figura que se quiere reproducir. Para vaciar, por ejemplo, una moneda ó una medalla, se forma un borde á su alrededor con una tira de cartón ó con cera, y se la unta de aceite para que el yeso no se adhiera, y se despegue después sin dificultad; se frota luego con un pincel mojado en una papilla clara de yeso, haciéndola penetrar por las cavidades más insignificantes de la medalla, á fin de que no queden burbujas de aire entre ésta y la capa de yeso. Se echa en seguida con una cuchara una papilla más espesa que la anterior, hasta la altura del borde; cuando se haya endurecido el yeso, se invierte todo, y se dan algunos golpecitos en el reverso de la medalla, por cuyo medio se despega el molde de yeso con la mayor sencillez y limpieza. Repitiendo con el molde lo mismo que se hizo con la medalla, se obtendrá la reproducción en yeso.

Cuando se quiera sacar la figura completa de un objeto más complicado, será menester que el molde se componga de varias partes fáciles de separar, á fin de poder extraer la forma vaciada. Para dar una idea del modo de disponer estos moldes, se supondrá que se desea preparar el necesario para la reproducción de una mano. Se coloca ésta, después de untada ligeramente de aceite, encima de una toalla y se tiende sobre ella una hebra de seda, algo fuerte. Se da á la mano una capa de yeso, que se aplica con un pincel mojado en una papilla muy clara, haciendo de modo que penetre hasta en los pliegues más delicados de la piel; antes que esta primera capa de yeso se haya endurecido, se echa con una cuchara una papilla más espesa, cuidando de que llene todas las cavidades; se agregan sucesivamente nuevas capas de yeso, hasta que el molde haya adquirido por todos sus puntos el espesor conveniente, que debe ser de algunos centímetros. Se aguarda unos cuantos minutos para que el yeso principie á tomar consistencia, y entonces se levanta la hebra de seda verticalmente, cogiéndola por una de sus extremidades: de este modo, se divide el molde en dos mitades. Se espera todavía á que la masa se haya endurecido, para separar las dos partes del molde y poder sacar la mano. Reuniendo las dos mitades, untadas de aceite, puede moldearse la mano y reproducirla cuantas veces se necesite.

Por medios análogos se construyen los moldes que sirven para formar los bustos y estatuas de yeso y otros objetos de arte ó de adorno; pero en estos casos, es preciso componer los moldes de mayor número de piezas, que se mantienen con una armadura exterior ó *casco*. Las uniones de las diversas partes del molde, se reproducen en los vaciados, formando filetes salientes, que se quitan con un cuchillo.

Cuando el yeso ha de servir para moldear objetos delicados, debe ser más puro que el empleado en las construcciones, y su cochura exige también mucho más cuidado, practicándola siempre fuera del contacto del combustible. En París aplican á este uso el yeso en flecha, que forma pequeñas capas en medio de la formación yesosa de Montmartre: partido en fragmentos menudos, lo cuecen en hornos, cuya temperatura debe ser gradual y lo más uniforme posible. En España se emplea el espejuelo, muy abundante en los alrededores de Madrid, Valencia, Alicante, etc.

Yeso alúmbrico.—Desde hace bastantes años se utiliza para moldear objetos artísticos, un yeso cocido con alumbre, que podría llamarse *yeso alúmbrico* (1) ó *mármol artificial*. Tiene más dureza que el yeso ordinario, y presenta también aspecto más agradable, por ser menos mate y algo translúcido. Para preparar el yeso alúmbrico, se somete el ordinario á una primera cocción, que elimina el

(1) Parece más correcto este nombre que el de *alumbrado*, con que generalmente se le conoce.

agua de cristalización, é inmediatamente se le sumerge en un baño de agua saturada de alumbre, donde se deja por espacio de unas seis horas. Se saca, se seca al aire y se le hace sufrir una segunda cochura, en la cual se activa el fuego hasta el rojo obscuro. Se muele después, y en este estado, se emplea para los objetos indicados, lo mismo que el yeso ordinario, aunque es frecuente amasarlo con una disolución de alumbre, en vez de hacerlo con agua pura. La solidificación del yeso alúmbrico no es tan rápida como la del ordinario, pues se conserva blando, aun transcurridas muchas horas.

El yeso alúmbrico reemplaza con ventaja al ordinario para la preparación del estuco. Mezclado con igual cantidad de arena, da una materia que adquiere mucha dureza y sirve para fabricar baldosas.

BETUNES.

Los *betunes* son compuestos, en general, más complicados que los morteros, y de menos aplicación; pero se usan también en diferentes ocasiones para el mismo objeto ú otros análogos. Conviene, pues, conocer los principales, á cuyo fin se examinarán sucesivamente los *calizos*, los *metálicos*, los *asfálticos*, los *resinosos* y algunos otros de composiciones variadísimas, que es difícil clasificar.

BETUNES CALIZOS.

En los betunes calizos entra como componente, según indica su nombre, la cal, que unas veces se apaga en agua, del mismo modo que en los morteros ordinarios, y otras en aceite, cera, leche, etc. Se aplican ordinariamente á enlucidos de mejor ó peor calidad, aunque también se usan para enlazar otros materiales.

Existen multitud de recetas en todos los tratados de Construcción, pero se dirán algunas palabras del betún de *Vauban*, del de *Loriot* y del *zulaque*.

Betún de Vauban.—Este betún se obtiene mezclando 2 partes en volumen de polvo de teja, pasado por tamiz, con 5 ó 6 de cal apagada en aceite de linaza. La mezcla se efectúa batiendo las dos substancias por espacio de cinco ó seis horas, haciéndola reposar una noche, y volviendo á batirla al día siguiente durante media hora, al ir á emplearla. Este betún es muy á propósito para enlucir el interior de los depósitos de agua. Se extiende por capas de 3 á 4 milímetros de espesor, dejando secar cada una tres ó cuatro días antes de aplicar otra.

Se puede mejorar este betún sustituyendo el polvo de teja por puzolana; su fraguado se explica de la misma manera que el de las pastas puzolánicas, puesto que su composición es análoga á la de éstas.

Betún de Loriot.—Para preparar este betún se mezclan en una artesa ó en un cubo 3 partes en volumen de cal apagada en polvo y 4 de agua; se tritura la mezcla con la paleta, hasta que la cal quede dividida por completo y forme una masa sin grumos. Se deslíe bien la cal y se añaden 16 partes de grava silícea en polvo ó de tejas pulverizadas, ó bien una mezcla de estas dos substancias, y se vuelve á batir perfectamente todo. En el momento de emplearlo se le añade una parte de cal viva pulverizada, que se mezcla lo mejor posible.

Aun cuando se recomienda esta mezcla para enlucir depósitos de agua, parece que la cal viva que contiene y que acabará de apagarse después de puesta en obra, ha de ser siempre un elemento perjudicial. Por lo demás, la composición del betún participa á la vez de la de las argamasas y de las pastas puzolánicas ordinarias.

Zulaque.—Este betún, de que tanto uso hacen los fontaneros para tapar las grietas de las cañerías, es una mezcla hidráulica muy enérgica, que también puede emplearse para las juntas de los sillares que están debajo del agua, como acontece en las murallas de Cádiz. Se compone de un pie cúbico de cal viva cernida, media arroba de aceite de sardinas, y en su defecto de atún, y 0,1 de pie cúbico de estopa picada (1). Se baten primero la cal y el aceite en una artesa y después se mezcla la estopa, macerándola á fuerza de pisón de cuña. Un hombre puede hacer en un día de dos á tres veces la cantidad de zulaque que resulta con las dosis indicadas. Á veces se añaden al zulaque algunas escorias de fragua.

(1) Equivalen estas proporciones á 22 litros de cal, 5kg.,75 de aceite y 2 litros de estopa.

BETUNES METÁLICOS.

El elemento esencial de estos betunes es alguno de los metales usuales ó de los óxidos correspondientes. Entre el gran número de composiciones que se emplean, se indicarán las más acreditadas.

Betún de Dihl.—Para este betún se dan varias recetas. La publicada por Claudel consiste en mezclar 92 partes en volumen de polvos de restos de porcelana con 8 de litargirio, y amasar el resultado con 25 litros de aceite de linaza ó de nueces, para cada 100 kilogramos de betún. Este es uno do los que gozan más crédito; se usa para rejuntar losas en sitios húmedos y para enlucir los paramentos de sillería que se hayan de pintar al óleo y estar expuestos al aire del mar, como sucede en los faros. La primera aplicación que se ha indicado, hace ver que el betún de Dihl, como el zulaque, es uno de los muchos betunes de fontanero que se conocen.

Betún de limaduras.—Otro de los betunes empleados en los trabajos de fontaneria, se prepara dejando en infusión, durante veinticuatro horas, 12 kilogramos de limaduras de hierro, ó de hierro y cobre, en 2 litros de vinagre y medio litro de orines, á los cuales se añaden 4 ajos y $1^{kg.},50$ de sal común. Antes de usarlo hay que asegurarse que la limadura de hierro no está oxidada; de lo contrario, el betún no podría adherirse á la fábrica ni fraguar. El endurecimiento de este betún parece debido á la formación de un acetato doble de hierro y amonio; la oxidación del hierro contribuye al resultado, por el considerable aumento de volumen que experimenta el metal al verificarse la reacción química.

Betunes para empotrar el hierro en la piedra.—Se usan muchos betunes para hacer sólida la unión de los metales en general y del hierro en particular, con las fábricas de albañilería y cantería. Los elementos esenciales de las mezclas, han sido por mucho tiempo las limaduras de hierro y el azufre; aún se aplican con frecuencia, pero siempre con mal resultado y peor aspecto: al oxidarse el azufre ataca sin duda á las piezas de hierro, los enlaces se aflojan y se manchan los paramentos, quizá por arrastrar mecánicamente la humedad parte del hidrato férrico que se produce. Debe,

pues, proscribirse aquel cuerpo: en los dos betunes que se indican á continuación no entra el azufre.

Betún ordinario.—Se prepara mezclando con aceite de linaza una parte en volumen de cal hidráulica, 2 de polvo de tejas y $^1/_2$ de limaduras de hierro. Por su composición debiera haberse expuesto en el grupo de los betunes calizos, más bien que en el de los metálicos; se prefiere, sin embargo, colocarlo en este sitio por tener la misma aplicación que el siguiente. El fraguado de este betún se explica por el de la pasta puzolánica de que se compone; las limaduras de hierro deben contribuir al resultado por el aumento de volumen que experimentan al oxidarse.

Betún de oxicloruro de zinc.—Este betún, llamado *cemento* por su inventor Sorel, se prepara desliendo óxido de zinc en una disolución de cloruro del mismo metal, á 50° del areómetro de Baumé. Para que el cemento fragüe con menos rapidez, se le añade 3 por 100 de bórax. Cuando la mezcla está fluida se puede vaciar en moldes, cuya forma reproduce con notable limpieza al endurecerse. Este betún se hace más duro que la caliza compacta; resiste perfectamente á las variaciones de temperatura y de humedad, y los ácidos le atacan con mucha lentitud. Para disminuir su precio suelen añadirse otras substancias, como arena y limaduras de hierro; estas últimas se agregan siempre cuando el cemento se destina á asegurar el empotramiento de los metales en las fábricas. El cemento de oxicloruro de zinc se aplica asimismo para construir losas artificiales de mosaico y para vaciar objetos de arte.

BETUNES VARIOS.

Hay otros betunes que en algunas circunstancias dan buenos resultados, que no encajan en la clasificación general que puede hacerse de aquellos, y cuyas composiciones se encuentran en los tratados de Construcción ó en los relativos á industrias especiales; sólo se indicarán, por su frecuente uso, el *de vidriero*, el *de cantero* y el *hidrófugo*.

Masilla de vidriero.—Se mezclan 3 partes de creta con una de albayalde ó de blanco de zinc, y un kilogramo del producto se muele y bate perfectamente con 18 ó 20 decagramos de aceite de linaza. Al ir á emplear la masilla se reblandece frotándola con los de-

dos. Este betún es el que se usa para unir los cristales á las vidrieras.

Betún de cantero.—En las canteras de las orillas del Mosa y del Hainaut, se emplea, para disimular los defectos de las piedras y para pegar las saltaduras, un betún que se prepara fundiendo una parte de cera y 2 de colofonia, y añadiendo á esta mezcla una proporción mayor ó menor de la misma piedra molida. Se conserva este betún en forma de barritas, y se aplica calentándolo para que se ablande. Se usan otras muchas mezclas semejantes, constituídas siempre con polvos de las mismas piedras: reciben los nombres de *betunes de fuego* y de *gabarros*.

Betún hidrófugo.—Los enlucidos *hidrófugos* se aplican á las paredes y á las maderas que convenga secar antes de pintarlas. Cuando se trate de las pinturas, se dirá la composición de algunos de estos betunes; pero procede hablar aquí del de Marchabée, porque no sólo se emplea con aquel objeto, sino con los de preservar á los hierros de la oxidación, empotrar las verjas y unir los tubos de hierro fundido. Las proporciones en peso de las diversas substancias que entran en este betún, son las siguientes:

Pez de Burdeos	60
Galipodio	2
Betún de Bastennes	19
Cera	4
Sebo de Rusia	3
Cal hidráulica apagada	6
Cemento romano	1

BETUNES ASFÁLTICOS.

En los compuestos que se van á describir, entran como materiales esenciales los *betunes propiamente dichos;* así es que convendrá exponer algunas ideas que den á conocer estos cuerpos, dejando su estudio detallado para el curso de Mineralogía.

Betunes y asfaltos,—Los *betunes propiamente dichos* son cuerpos de composición variable (1), que se encuentran en la naturaleza

(1) Según Malo, los betunes minerales contienen dos principios: un hidrocarburo $C^m H^n$, y un radical oxigenado $C^p H^q O^r$. La naturaleza de los betunes varía con la composición de esos principios carburados.

ya puros, ya mezclados con otras materias. Los hay líquidos, como la *nafta* y el *petróleo;* viscosos, como la *malta* ó *pisasfalto*, y sólidos, como el *betún de Judea*, que flota en la superficie de las aguas del mar Muerto. Á veces los betunes están mezclados con una ganga térrea, como sucede en el lago de la Pez, en la isla de la Trinidad, una de las Antillas; la ganga es en ocasiones cuarzosa, y de ello presentan ejemplo las arenas bituminosas de Clermont y las ya agotadas de Bastennes; con frecuencia el betún se halla mezclado más íntimamente con ciertas rocas que, por decirlo así, están impregnadas de principios carburados, y así se observa en varios esquistos (1), y sobre todo en algunas calizas, que son las que por su mayor abundancia relativa se utilizan en la construcción para preparar los compuestos de betún natural. Los principales yacimientos de calizas bituminosas están situados en una línea paralela al Jura, desde Wisemburgo á Chambery, y las canteras más importantes en esta formación geológica son las de Val-de-Travers y Seyssel. Deben citarse también, aunque tienen mucha menor entidad, los criaderos de rocas bituminosas de Maestú, en Navarra, y los que existen en las provincias de Barcelona, Burgos, Álava y Soria; en 1882 sólo se explotaron canteras en las dos últimas, que produjeron en junto unas 500 toneladas.

El carbonato cálcico bituminoso, que es á lo que se llama *asfalto* (2), tiene una densidad variable de 1,1 á 1,5, y se compone de 90 á 94 por 100 de carbonato cálcico puro y 10 á 6 por 100 de betún. El asfalto se parece en su aspecto al algez y en su color al chocolate; si se corta, se advierte en la superficie una coloración blanquecina semejante también á la que en el chocolate deja el cuchillo. El grano es fino, y cuando se examina con atención la estructura de la roca, se observa que cada partícula de caliza está rodeada por una capa casi atómica de betún: un grano cualquiera está separado de

(1) Los esquistos bituminosos de Autun, el Delfinado, etc., producen, por la destilación, un excelente aceite para alumbrado, que se llama *de esquisto*.

(2) Los mineralogistas emplean la palabra *asfalto*, para designar una variedad de *betún*. Sin embargo, en todo lo que sigue se dará aquel nombre á la caliza bituminosa, como lo hacen Coulaine y Malo, que tanto se han ocupado en este asunto.

los inmediatos por un barniz, que sirve á la vez para pegarlos entre sí.

Extracción del betún.—Aunque el betún puro ofrece para el Ingeniero poca importancia, es preciso saber extraerlo de las rocas que lo contienen, porque se necesita en alguna cantidad en la fabricación de los compuestos asfálticos. Se extrae generalmente sometiendo las rocas bituminosas á la acción del agua hirviendo. Agitando la masa, aparece en la superficie el betún en forma de espumas, que se recogen á medida que se van formando, y en el fondo de la caldera se depositan al propio tiempo la caliza y todos los cuerpos que estaban impregnados de betún. El obtenido así, contiene aún algunas cantidades de materias extrañas que arrastra consigo; si se quiere purificarlo, se le somete á una segunda fusión, resultando entonces la operación más cara y una pérdida bastante grande de betún que queda mezclado en el fondo con las demás substancias. Se ha ensayado otro procedimiento, que sin duda dará buenos resultados cuando se trate de obtener grandes cantidades de este material: consiste en someter el asfalto á la acción sucesiva del sulfuro de carbono y de una temperatura poco elevada: el sulfuro de carbono no disuelve más que el betún, precipitándose el carbonato cálcico; sometida la disolución á la destilación, se separan el betún y el sulfuro de carbono, que se puede recoger y aprovechar de nuevo.

Es preciso calentar el asfalto con muchas precauciones, porque el betún se funde á poco más de 100°, y entre 120 y 140° entra en ebullición, desprendiéndose humos espesos. El producto de la destilación es un aceite, cuya naturaleza es la que parece tiene mayor influjo en las propiedades del betún.

Las calizas bituminosas que se emplean para la preparación de los betunes asfálticos, se someten á varias operaciones que es menester reseñar.

Explotación de las canteras.—La extracción de las rocas se verifica como la de las demás piedras, al descubierto ó por galerías (1). Cuando se sigue el primer sistema, depende de la temperatura el resultado ó efecto útil, siendo más fácil la explotación en invierno, porque en esta estación saltan mejor las piedras y no se embotan tanto las herramientas, por estar el betún menos correoso.

(1) En Seissel y en Val-de-Travers, la explotación se hace al descubierto; en Volant y en Chavaroche (también entre Wisemburgo y Chambery), en galería.

Machaqueo y pulverización de la piedra.—Extraída la piedra, hay que triturarla para formar el polvo asfáltico, á cuyo fin se suele empezar por machacarla al tamaño de $0^m,06$ á $0^m,08$ de dimensión máxima, bien á mano, con pisones ó almadenas, ó bien por medio de cilindros acanalados (fig. 54), como los que se usan para partir las piedras destinadas á afirmados. Esta operación se hace con mucha más economía en invierno que en verano, y produce una merma en el volumen, que se eleva á 20 por 100.

Para pulverizar la piedra partida se recurre á diversos procedimientos, reduciéndose á cuatro los principales, dos en caliente y dos en frio.

Uno de los primeros consiste en introducir la piedra machacada, colocada en cajas de palastro, en retortas ó estufas cerradas, provistas de chimeneas ó tubos para dar salida á los gases, y en las que se eleva la temperatura, de una manera suave y uniforme, consiguiendo así reblandecer el betún y desagregar las piedras. Este método presenta el defecto de que aunque se sacudan las cajas de cuando en cuando, para que se presenten sucesivamente todos los fragmentos de asfalto á la acción del calor, no se logra la conveniente uniformidad. Por otra parte, casi siempre se pasa de la temperatura á que se volatiliza el betún, perdiéndose alguna cantidad, que es preciso luego reponer artificialmente con grave riesgo de que empeore la mezcla.

El segundo procedimiento en caliente se reduce á introducir el asfalto en cilindros bien cerrados, por los que se hace circular una corriente de vapor de agua á una presión de 3 ó 4 atmósferas, con lo cual se logra también ablandar el betún y reducir á polvo la piedra. Aunque este método no presenta los inconvenientes del anterior, tiene, sin embargo, el de que el vapor de agua parece destruir algunas de las propiedades de la materia bituminosa. Los procedimientos en que se recurre á elevar la temperatura, puede decirse que no se emplean más que cuando las calizas son muy ricas en betún.

Uno de los sistemas para practicar la desagregación en frío consiste en hacer pasar los fragmentos de piedra machacada entre dos cilindros laminadores de superficie lisa, que dejan entre sí un claro de 8 á 10 milímetros. De esta manera se comprime la piedra y sale formando una lámina pastosa, que se halla en las mismas condiciones que el polvo obtenido por los procedimientos anteriores para la fabricación de los betunes. Conviene este método, como los dos que preceden, para las piedras muy bituminosas, siendo perjudicial que haya en la masa algunas partes de caliza no impregnada: este sistema es el que mejores resultados da con los asfaltos de Seyssel y Val-de-Travers.

Por último, el segundo procedimiento en frío está fundado en reducir á polvo los fragmentos, por medio de muelas de piedra ó de hierro colado, ó bien empleando molinos análogos, en cuanto á la forma, á los que se usan para moler el café y otras substancias, pero de mayor fuerza. Los molinos dan resultado más satisfactorio con las calizas pobres en betún, pues las ricas los obstruyen y obligan con frecuencia á parar el trabajo para limpiarlos.

Cernido.—Trituradas las piedras, se tamizan los productos, haciéndoles pasar por rejillas metálicas, cuyos huecos tengan de 2,5 á 5 milímetros de diámetro, volviendo luego á desagregar todos los fragmentos de mayor tamaño. Las zarandas tienen, por lo general, una forma cilíndrica (fig. 55), y se colocan horizontales ó con poca inclinación. Introducido el polvo de asfalto en las zarandas, va cayendo á través de la rejilla, mientras gira el cilindro, y los pedazos más gruesos corren por dentro y á lo largo de él, saliendo por un extremo: las zarandas suelen presentar claros de diferentes dimensiones, que van aumentando de la parte superior á la inferior, consiguiendo así clasificar las substancias cernidas por orden de magnitud.

De este modo queda ya el polvo en disposición de emplearlo para la fabricación de tortas ó panes asfálticos, ó bien para utilizarlo inmediatamente, de la manera que se dirá después.

Fabricación de los panes asfálticos.—Para formar los panes asfálticos se hace uso de calderas de hierro colado, de forma cilíndrica (fig. 56), en las cuales se empieza por fundir una pequeña cantidad de betún puro, y cuando está ya líquido, se echa poco á

poco la caliza bituminosa, revolviendo constantemente la masa con agitadores unidos al eje del cilindro, para que no se pegue al fondo de la caldera, y evitar que ésta se deteriore. La temperatura ha de ser moderada, á fin de que no se descomponga el betún. En cuanto la mezcla está bastante fluida y homogénea, se agrega otra nueva cantidad de asfalto, y se continúa así hasta que la masa se espese bastante para no poderla remover con facilidad; entonces se puede añadir un poco más de betún: por el contrario, si la piedra fuera muy bituminosa, sería preciso echar alguna cantidad de caliza pura molida. Se conoce que la masa queda bien preparada, introduciendo una espátula ó tabla, que deberá salir humedecida y sin ninguna partícula adherida á ella.

Las cantidades relativas de betún y caliza que se emplean, son 150 kilogramos de betún puro, para cada dos toneladas de caliza bituminosa, reduciéndose la mezcla, después de la operación, á unos 2.000 kilogramos, habiéndose evaporado ó convertido en aceites volátiles lo demás. Después de fundida la masa, se saca de la caldera con cazos de hierro y se va echando en los moldes, que se componen, por lo general, de anillos de hierro divididos por un diámetro, y que tienen de 10 á 12 centímetros de altura por 15 de radio (fig. 57). Los moldes se colocan en placas de hierro, donde se vierte la masa y se deja hasta que se enfríe, formando así tortas que pesan unos 25 kilogramos. Las tortas se sacan con facilidad, separando las dos mitades del molde, que al efecto van provistas de asas, y cuidando de cubrir de arcilla las paredes de aquel para evitar la adherencia.

Fabricación del betún asfáltico.—Para preparar el betún asfáltico, ó bien se vuelven á fundir los panes, pulverizándolos antes por medio del *triturador universal de Carr*, formado de unas cuantas linternas concéntricas, que giran alternativamente en sentido diferente; ó bien se funde desde luego la caliza pulverizada, empezando siempre por echar en la caldera un poco de betún puro. Cuando la masa está ya fluida, se agrega arena ó gravilla bien limpia de tierra, que desempeña en estas composiciones análogo papel que en los morteros, pues produce economía y disminuye la pastosidad que el betún comunica al asfalto en tiempos calurosos. La cantidad de arena varía según el objeto á que se destine el betún y los agentes á que haya de estar expuesto; pero puede decirse que oscila entre

50 y 80 por 100 en peso de la mezcla (1). No debe echarse la arena de repente, sino poco á poco, esperando cada vez á que la cantidad que se agregó primero se sumerja por sí sola; se revuelve entonces la masa y se deja pasar algún tiempo sin introducir otra nueva porción de arena, hasta que la mezcla vuelva á adquirir la misma temperatura.

Cuando los ingredientes forman una masa homogénea, puede emplearse el betún. Ordinariamente se hacen la fusión y mezcla al pie de obra, en calderas pequeñas y ligeramente cónicas (fig. 58); pero este sistema, además del inconveniente que tiene de obstruir el paso y de producir un olor desagradable, es poco económico, porque se desperdicia bastante betún y se gasta mucho combustible; así, es que en las poblaciones donde se hace uso del asfalto para aceras y firmes, se prepara en sitios á propósito y en grandes cantidades, llevándolo ya hecho al lugar donde se ha de emplear, en calderas cilíndricas montadas sobre ruedas y tiradas por caballerías; estas calderas tienen un pequeño hogar para mantener fundida la masa, y un agitador, que se maneja desde fuera, para impedir que el betún se adhiera á las paredes.

Algunas veces suele usarse el asfalto comprimido, para lo cual no hay más que someter en caliente, á una fuerte presión, el polvo asfáltico hasta que se reduzca á pasta y se una. Este sistema se adopta en particular para el afirmado de calles, y se explica con detalle en el curso de Carreteras.

Aplicaciones del asfalto en la construcción.—La principal aplicación del asfalto es para la construcción de aceras, firmes y azoteas. Sin embargo, en la mayor parte de España no se puede emplear en esta clase de obras, porque el calor hace que se reblandezca mucho el betún; pero produce buenos resultados en pavimentos que no estén directamente expuestos á los rayos del sol. Se hace también á veces, para cimentar bajo el agua, un hormigón de piedra y betún asfáltico (1), y no es raro construir con este betún las chapas impermeables de las bóvedas. Los betunes se emplearon como morteros en épocas muy remotas, como se verá al hablar de los ladrillos.

(1) El betún asfáltico que se emplea en aceras en París, tiene la composición siguiente:

Asfalto de Seyssel....................	23	kilogramos.
Gravilla............................	15	»
Betún libre.........................	1,5	»

Las cantidades anteriores son las que se necesitan para cubrir un metro cuadrado de acera.

Betunes asfálticos artificiales.—Se preparan *betunes asfálticos artificiales* mezclando caliza ordinaria con una cantidad conveniente de betún puro. Estos betunes no han tenido nunca buen éxito en la práctica, porque no se ha conseguido una mezcla tan íntima del betún y de la caliza como la que presentan los asfaltos. Se comprende que sea así, porque para conseguir que la caliza se impregne, hay que recurrir á una temperatura de unos 200°, á la cual empieza á descomponerse el betún. Estas mezclas sólo deberán emplearse en sitios en que no queden expuestas á la acción del calor y de la intemperie.

También se preparan otros compuestos sustituyendo el betún natural con el *alquitrán mineral* ó *colta* (2); en un principio produjeron malos resultados, pero se ha logrado mejorarlos, destilando el colta y reemplazando los aceites volátiles que se desprenden, con un aceite fijo, con caucho ó con gutapercha. Así se fabrica la *brea* ó *pez mineral,* que mezclada con un peso triple de una substancia terrosa, y mejor aún de creta, constituye la llamada *lava fusible,* que se utiliza para las mismas aplicaciones que los betunes asfálticos naturales, es decir, para aceras, azoteas, pavimentos, etc.

Aglutinando gravilla ó arena con brea mineral, se prepara el *hormigón de pez,* que se ensayó con éxito satisfactorio en las obras del puerto de Orán.

BETUNES RESINOSOS.

Composición y preparación.—Los *betunes resinosos* se di-

(1) El hormigón de asfalto se prepara, por lo general, con 5 kilogramos de betún puro, 95 de betún asfáltico y 150 de piedra machacada.

(2) El *alquitrán mineral* se obtiene al destilar el carbón de piedra para preparar el gas de alumbrado.

ferencian únicamente de los asfálticos en que la resina reemplaza al betún. Para su fabricación se usan las diversas resinas que se expenden en el comercio, pero las substancias que con más frecuencia se emplean son el *alquitrán vegetal,* la *brea* y la *pez*. Todas ellas son productos de la destilación de las maderas, y en particular del pino, mezclados con carbón. Más adelante se explicarán con algún detalle la composición y preparación de dichas materias.

Fabricación de los betunes resinosos.—Estas mezclas se obtienen de una manera análoga á las asfálticas; se funde la resina en una caldera con las precauciones indicadas para el betún puro, y se añade la caliza en pequeñas cantidades, removiendo constantemente la masa. La operación se considera terminada cuando se desprenden humos blancos y corre la mezcla sobre la espátula sin presentar granos visibles. Si se advierte un olor nauseabundo, es señal que la cochura ha sido excesiva y debe añadirse resina para que el betún no resulte quebradizo. Cuando se haya de emplear como mortero para unir otros materiales, se suele sustituir la caliza con ladrillo molido ó arena silícea bien seca, que dan más tenacidad y adherencia á la masa.

Defectos principales de estos betunes.—Los betunes resinosos, aunque dan buen resultado en algunos casos, son de peor aplicación que los asfálticos, pues no es posible conseguir en ellos la trabazón íntima que tienen las substancias en los asfaltos naturales.

Como las resinas contienen siempre alguna cantidad de *ácido piroleñoso* (ácido acético impuro), que no entra en el betún, se secan más rápidamente que éste. Para evitar, en parte, el inconveniente, se hace entrar en la mezcla cal apagada, en cantidad tal, que el volumen de cal viva correspondiente, sea igual al de resina; se forma entonces un acetato cálcico que es inerte. Las cales grasas parece que son mas á propósito que las hidráulicas.

Otro defecto de los betunes resinosos, y quizá el más importante, es la frecuencia con que se presentan grietas difíciles de unir, en las superficies cubiertas con ellos. Para evitar algún tanto las quebraduras, se suelen extender los betunes en dos capas superpuestas, á juntas encontradas, de 6 á 7 milímetros de espesor; pero sucede á menudo que no se sueldan bien entre sí.

De lo dicho se desprende que los betunes asfálticos deben preferirse á los resinosos. Cuando se quiera emplear estos últimos, convendrá hacer antes experimentos y fijar, en su consecuencia, las proporciones en que deban entrar las diversas substancias y las precauciones que proceda tomar en la fabricación y en la colocación en obra.

PASTAS CERÁMICAS.

Las *pastas cerámicas* ó *productos de alfarería*, son objetos moldeados con arcilla y sometidos á la acción del fuego. Entre las pastas cerámicas hay algunas, como los *ladrillos*, de importancia suma en las construcciones, y que son verdaderas piedras artificiales; otras que, como las *tejas, baldosas, azulejos* y *tubos*, tienen asimismo interés para el Ingeniero; otras, finalmente, que no es preciso estudiar en este curso, como la *terracota* (1), la *loza*, la *porcelana*, etc., si bien sobre la terracota se harán ligeras indicaciones.

Siendo las arcillas la base de la cerámica, se principiará por estudiarlas con alguna detención.

ARCILLAS.

Composición y propiedades.—Los silicatos de aluminio se encuentran profusamente esparcidos en la superficie de la tierra, y tienen grandes aplicaciones en las artes y la industria. Muchas rocas, las feldespáticas sobre todo, que constituyen masas considerables del globo, están compuestas de una mezcla más ó menos íntima de silicatos de aluminio y de potasio, sodio ó litio.

Los hidrosilicatos de aluminio, las *arcillas*, determinan, como se ha visto, la hidraulicidad de las cales; forman la base de los productos de alfarería ó pastas cerámicas; ciertas variedades reciben importantes aplicaciones en la pintura, otras en la desengrasación de paños, etc.

(1) Se adopta la palabra italiana admitida en toda Europa, pero escribiéndola con ortografía castellana.

Las propiedades generales de las arcillas consisten: 1.ª En ser infusibles á las temperaturas más elevadas que pueden obtenerse en los hornos; se funden, sin embargo, á la que produce el soplete de gases oxígeno é hidrógeno, lo que se comprende recordando que á esta temperatura entran en fusión los dos elementos que las constituyen. La infusibilidad se refiere á las arcillas puras; pueden éstas cambiar de estado con facilidad si están mezcladas ó combinadas con proporciones algo considerables de ciertas substancias, como óxidos de hierro, carbonato cálcico, agua, etc. 2.ª En presentar casi siempre un aspecto térreo, con cierta porosidad que determina un apegamiento á la lengua. 3.ª En exhalar, cuando están húmedas, un olor característico y formar con el agua una pasta más ó menos trabada. Esta última propiedad es de la mayor importancia: en efecto, las arcillas puras forman con el agua una pasta que puede moldearse perfectamente; después de seca es susceptible de tornearse y trabajarse con instrumentos cortantes; por último, la cocción la endurece, haciéndole perder la plasticidad. Todas estas circunstancias reunidas explican el empleo de las arcillas para la fabricación de pastas cerámicas.

La densidad de las arcillas varía, por lo general, de 1,64 á 1,76, pero en ocasiones llega á 1,93.

Las arcillas se dividen en cuatro grupos: *plásticas, esmécticas, figulinas* y *compuestas* ó *mixtas*, división que reconoce por base la composición de estos cuerpos, la cual, como es natural, modifica sus propiedades físicas y químicas.

Arcillas plásticas.—Las arcillas *plásticas*, como su mismo nombre lo indica, gozan en alto grado de la propiedad de formar pasta muy trabada con el agua; son casi inatacables por los ácidos, y contienen de 10 á 12 por 100 de agua, que por la mayor parte de los autores no se considera como combinada con el silicato de aluminio. Brogniart admite que las arcillas verdaderamente plásticas tienen por fórmula química, prescindiendo del agua, $Si^3\,O^{12}\,(Al^2)^2$.

Las propiedades de las arcillas plásticas las hacen muy á propósito para la alfarería. Respecto á la acción que sobre ellas ejercen los

ácidos y las bases enérgicas, debe tenerse presente un fenómeno particular: una cocción moderada hace atacables los elementos de la arcilla, al paso que si la cochura es muy enérgica ó se repite varias veces, disminuye la cantidad de materia soluble en aquellos reactivos. Como prueba del primer hecho, basta recordar que los elementos de la arcilla contenidos en las cales y en los cementos que provienen de una calcinación poco enérgica de calizas bastante arcillosas, son atacables, casi en totalidad, por la cal, circunstancia que no ofrecía la arcilla del carbonato primitivo.

Arcillas esmécticas.—Las arcillas *esmécticas* contienen de 22 á 25 por 100 de agua combinada, son menos aluminosas que las plásticas, gozan de poca plasticidad y los ácidos las atacan. La pasta que forman con el agua es muy poco trabada; la cochura las deforma y agrieta. Estas arcillas están siempre mezcladas con proporciones mayores ó menores de óxidos de hierro, magnesia y carbonato de calcio, á lo que deben el ser fusibles á la temperatura de los hornos de porcelana. Los caracteres precedentes bastan para que se comprenda que las arcillas esmécticas no pueden aplicarse á la fabricación de pastas cerámicas; y en efecto, si alguna vez se usan, es únicamente para *desengrasar* otras arcillas, es decir, para disminuir su plasticidad, lo que es necesario en varias ocasiones, para evitar, en parte, la contracción que experimentan las pastas durante la cochura. El uso principal á que se destinan las arcillas esmécticas, es á verificar por capilaridad la absorción de las materias grasas de los paños, de donde proviene el nombre de *tierras de batanero* que se les suele dar: á este género corresponde la arcilla que se conoce vulgarmente con la denominación de *tierra de Segovia*.

Arcillas figulinas.—Las arcillas *figulinas* presentan gran analogía en sus propiedades físicas y químicas con las plásticas; se distinguen de ellas en que son menos compactas y más deleznables, y en que la pasta que forman con el agua se deslíe con mayor facilidad. Estas arcillas se pueden considerar como el tránsito de las plásticas á las esmécticas; sin embargo, contienen siempre óxidos de hierro y carbonato cálcico, y este último cuerpo entra á veces en proporción de 5 y 6 por 100, lo que hace que algunas arcillas figulinas se fundan á una temperatura á que permanecen inalterables las esmécticas. La composición química de estas arcillas oscila entre límites bastante extensos. De todo lo dicho se desprende que las tierras figulinas podrán emplearse como base de las pastas cerámicas que no exijan para su cocción una temperatura muy elevada: los objetos de loza; los de barro, como tiestos, pucheros, estatuas y jarrones para jardines; los ladrillos y tejas se trabajan, en efecto, con esta clase de arcillas.

Arcillas compuestas.—Las arcillas que no están mezcladas con substancias extrañas en cantidades demasiado considerables, pueden clasificarse en uno ú otro de los tres grupos anteriores; pero cuando las impurezas aumentan, se obtienen las llamadas arcillas *compuestas*. Dejando su estudio completo para el curso de Mineralogía, así como también el de las arcillas que se distinguen por particularidades de estructura, se dirán breves palabras acerca de los *ocres* y de las *margas*.

OCRES.—Son arcillas ordinarias mezcladas con una proporción notable de hidrato férrico, que comunica á la masa un color amarillo, ó de anhidrido férrico, que da una coloración roja; en este último caso, la arcilla recibe el nombre de *ferruginosa*. Los ocres amarillos pueden tomar un color rojo, haciéndoles perder por la cochura el agua que encierran; su principal aplicación es á la pintura. Entre las variedades de ocres rojos, se citarán: la *piedra sanguinaria*, con que se fabrican lápices de dibujo; el *almagre* ó *almazarrón*, que se usa en pinturas bastas, y el *bol arménico*, medicamento y substancia colorante que se exportaba de Persia y Armenia y que hoy se explota en muchos puntos.

MARGAS.—Los mineralogistas reservan el nombre de *marga* á una mezcla, en proporciones iguales, de arcilla y carbonato cálcico; pero en lo que sigue se dará aquel nombre á las calizas muy arcillosas ó á las arcillas muy calizas, que se diferencian de estas rocas en contener elementos que se desagregan con facilidad al aire, en virtud de la cohesión y estructura especial de la substancia. Por consiguiente, desde el punto de vista de la composición, se pasa por modificaciones insensibles desde la caliza pura á la marga, por el intermedio de las calizas arcillosas; así como las margas arcillosas, al perder caliza, se convierten gradualmente en arcillas puras. Las margas se distinguen con facilidad de las arcillas por la efervescencia que producen con los ácidos; su aplicación más importante la reciben en la

agricultura, para abono de terrenos, en los que ejercen su acción por los elementos desagregables que encierran.

Caolines.—No parece natural dar por terminado el estudio general de las arcillas sin decir algo acerca de los *caolines*, que tanto por su composición (hidrosilicatos de aluminio), como por sus aplicaciones, pueden considerarse como arcillas. Los caolines son deleznables, forman con el agua una pasta poco trabada, y cuando se les ha separado, lavándolos, de las materias extrañas que contienen, son infusibles en los hornos de porcelana, adquiriendo por la cocción mucha dureza y volviéndose fácilmente quebradizos. Estas propiedades hacen del caolín un material precioso para la fabricación de la porcelana fina, si bien necesita mezclarse con diversas substancias, que varían según la composición de aquel, á fin de obtener masas de plasticidad conveniente. La mayor parte de los autores consideran á los caolines como resultado de una descomposición lenta de las rocas feldespáticas (silicatos dobles de aluminio y un metal alcalino), producida por la acción de las aguas, que irían disolviendo poco á poco la parte alcalina; otros sostienen que la descomposición de las rocas feldespáticas debe explicarse por fuerzas eléctricas. No se insistirá en este punto, que se desarrolla en el curso de Geología, bastando consignar aquí que los elementos feldespáticos de que provienen los caolines corresponden la mayor parte de las veces á rocas graníticas, pero que los pórfidos, y aun las traquitas, se encuentran asimismo asociados á aquellos. Cuando se extrae el caolín de la cantera sale mezclado con feldespato, poco ó nada descompuesto, y con granos cuarzosos: se purifica por *levigación,* á cuyo efecto se deslíe la masa en el agua de un depósito, se agita el líquido con una rueda de paletas y se decanta con rapidez; el caolín queda en suspensión, y la mayor parte del feldespato y del cuarzo van al fondo. Repitiendo la operación varias veces, dejando reposar el líquido, dando salida al agua por medio de un sifón, y haciendo que se seque el caolín, se consigue aislarlo por completo.

El caolín lavado presenta una composición bastante variable. En casi todos los caolines hay sílice libre, aunque no debe considerarse como esencial esta circunstancia. En España existe el caolín en varias localidades; pero en 1882 sólo se explotó la mina *Aulencia*, situada en el término de Valdemorillo (Madrid), que produjo 80 toneladas.

Expuestas las ideas precedentes, se pasará al estudio detallado de los ladrillos, y se examinarán después rápidamente las demás pastas cerámicas que usa el Ingeniero.

LADRILLOS.

ELECCIÓN DE LAS TIERRAS Y COMPOSICIÓN DE LAS PASTAS.

Cualidades que deben tener las tierras.—Los ladrillos se fabrican casi constantemente con arcillas figulinas teñidas de amarillo ó rojo por el hidrato ó el anhidrido férrico, y que vale más pequen por exceso de crasitud que por ser demasiado arenosas. Conviene que tengan bastante plasticidad para poder moldearlas fácilmente, que sean algo ásperas al tacto, y sobre todo que sólo contengan cantidades pequeñas de substancias salinas ó térreas diferentes de las que constituyen su esencia, así como de materias metálicas y orgánicas y de cantos rodados ú otros cuerpos extraños.

Las arcillas muy arenáceas tienen multitud de inconvenientes para la fabricación de ladrillos. Van casi siempre acompañadas de otras substancias, que hacen fusibles las pastas, y que no se pueden eliminar de ellas con la economía que impone la preparación de un material artificial, que si no es barato, pierde la más importante de sus ventajas; la arena en cantidad excesiva, disminuye mucho la plasticidad de la arcilla, que forma con el agua una masa nada untuosa y difícil de moldear; durante la cocción, la arena se vitrifica, y si es abundante quedan las superficies de los ladrillos como cubiertas de una película brillante y lisa, que impide que agarren bien las mezclas.

Mas no se crea por esto que la pasta con que se preparen los ladrillos ha de estar desprovista en absoluto de arena; todo lo contrario, este cuerpo, en determinadas proporciones, es muy necesario, porque aminora la contracción que, como ya se sabe, experimentan las arcillas en la cochura, contracción perjudicial en alto grado, no por la diminución de tamaño de los objetos cocidos, sino porque

no siendo posible que se verifique por igual en todos sentidos, agrieta y deforma las pastas y encorva ó alabea las superficies que debieran quedar planas.

Además las arcillas muy puras, las verdaderamente plásticas, que forman pastas finas y trabadas, y que son muy á propósito para obtener baldosines, azulejos, tejas, tubos y otros productos en que se ha de atender al aspecto más bien que á la resistencia, darían ladrillos de acabados paramentos y agradables á la vista, pero á los que les faltaría la solidez indispensable para emplearlos como piedras de construcción. Desde luego puede sentarse, y una larga experiencia lo confirma, que las arcillas que dan mejores ladrillos no pueden utilizarse para modelar objetos de arte, y que recíprocamente, las arcillas más finas y puras no producen, en su estado natural, en la mayoría de los casos, pastas adecuadas para el trabajo, tan basto como útil, del ladrillero.

Para una arcilla y una arena dadas, existe una relación entre ambos elementos, con la que se obtienen mejores ladrillos que con otra cualquiera; pero como la arcilla y la arena, no sólo no tienen una composición fija, sino que rara vez son homogéneas, no se pueden dar reglas precisas, y únicamente por tanteos y experimentos sería factible deducir en cada hornada las proporciones respectivas de las dos substancias que convenga mezclar. La inmensa mayoría de los fabricantes se aferran siempre á una rutina, y así se explican las diferencias notables que ofrecen ladrillos de la misma procedencia.

Las consideraciones que anteceden son más que suficientes para que se comprenda que no será común encontrar en la localidad en que se vaya á establecer el alfar, tierra ni más ni menos plástica, ni más ni menos fusible, ni más ni menos arenosa que la que se requiera para obtener ladrillos excelentes. Los operarios prácticos y expertos reconocen por el tacto la calidad de las arcillas y se equivocan pocas veces: nada más sencillo, por otra parte, que moldear ladrillos pequeños, cocerlos en un horno de cal ó en otro cualquiera que esté funcionando y examinar las condiciones de los productos, deduciendo con completo conocimiento, si es oportuno *engrasar* ó *desengrasar* la arcilla, esto es, aumentar ó disminuir su plasticidad; si se lograrán mejores resultados haciendo la pasta más fusible, más vitrificable, etc. Estos ensayos son interesantes, porque

las condiciones de una arcilla pueden mejorar con la adición de substancias variables, según los efectos que se desee producir.

Cuerpos que se agregan á las tierras.—Oportuno es, por consiguiente, reseñar las materias que con mayor frecuencia se agregan á las tierras, y conocer las modificaciones principales que introducen en la calidad de las pastas.

Arcillas.—Una arcilla que no sea bastante untuosa, se podrá engrasar amasándola con otra plástica. Claro es, además, que las mezclas de una arcilla plástica con otra esméctica, de una esméctica con una figulina rayana con las plásticas, ó de dos figulinas de diferente grado de plasticidad, podrán dar, proporcionando bien las dosis, resultados satisfactorios. Lo mismo que se dice de las arcillas, debe entenderse de las margas.

Arena.—La arena es la substancia antiplástica por excelencia; mezclada en cantidad á propósito con una arcilla demasiado grasa, la hace más fácil de trabajar, evita que se pegue á las herramientas, y contribuye á que se seque con más rapidez é igualdad, y á que sea uniforme la cochura.

La arena silícea es la mejor y casi siempre se encuentra asociada á los bancos de arcilla, lo que permite acopiarla con pocos gastos; además la arena silícea presenta la ventaja de que, por regla general, disminuye la fusibilidad de las arcillas, á diferencia de las arenas feldespáticas, micáceas, ferruginosas y calizas, que la aumentan.

Si la arena es de grano desigual ó está mezclada con gravilla, hay que cribarla antes de agregarla á la arcilla.

La arena puede reemplazarse con areniscas pulverizadas; pero este procedimiento reclama mucha mano de obra.

Cementos.—En alfarería se da el nombre de *cementos* al resultado de triturar arcillas cocidas, como tejas y ladrillos viejos ó que se hayan desechado de las hornadas. Bajo el concepto de la plasticidad es indiferente el cemento que se admita, porque todos poseen, casi en el mismo grado, la facultad de hacer más compactas y fáciles de secar las pastas. Pero cuando se trate de preparar *arcillas refractarias,* es decir, arcillas que resistan sin deformarse las temperaturas más elevadas de los hornos, conviene mezclar, para obtener productos de primera calidad, una arcilla pura, y por consiguiente infusible, con cementos que provengan de materias que hayan estado expuestas al

fuego intenso de los hornos, como ladrillos, crisoles ó vasijas refractarias; las arcillas, refractarias también, pero algo inferiores, provienen de mezclar arcillas puras con el cemento que produce la misma arcilla cocida y pulverizada; por último, los objetos refractarios menos esmerados, se trabajan con arcilla plástica desengrasada con arena silícea fina.

Creta ó carbonato cálcico.—La caliza, y sobre todo la creta, se emplea muy á menudo para desengrasar las arcillas y hacerlas más fusibles. Es preciso cuidar de agregar la creta muy dividida y de suerte que se reparta con uniformidad en la masa, así como de que la temperatura á que se haga la cocción sea bastante elevada para que se descomponga el carbonato y para que la cal se combine con los elementos de la arcilla. Si se verifica la combinación, se obtienen ladrillos duros, resistentes y de buena calidad; si, por el contrario, queda cal cáustica libre en la pasta, atrae la humedad y el anhidrido carbónico, y al entumecerse ejerce presiones que desagregan y reducen á polvo los ladrillos. No es fácil llegar á una combinación completa de la cal con la sílice y la alúmina, porque si se prolonga la temperatura necesaria para producirla, se funden el silicato y el aluminato cálcico. Parece, pues, que la aplicación del carbonato como desengrasador ofrece serias dificultades, y será prudente no añadir á la arcilla arriba de un 10 á un 15 por 100 en peso de creta.

Escorias de los hornos altos (1); escorias de fraguas (2); cenizas de hulla.—Todas estas substancias, que se componen de silicatos fusibles, son antiplásticas. Si se trituran con cuidado, al mezclarlas con la arcilla y someter la pasta á la acción del fuego, se obtienen productos duros y resistentes, pero no tan buenos como los preparados con arcilla y con arena ó cemento, porque son más fusibles. La superficie de los ladrillos se vitrifica, lo que si es inconveniente para la adherencia de las mezclas, es ventajoso para que resistan mejor á

(1) Las escorias de los hornos altos se componen esencialmente de silicatos dobles de aluminio y calcio; contienen también, en mayor ó menor cantidad, óxidos de hierro, de magnesio, etc.

(2) Las escorias de fragua son silicatos fusibles, muy ricos en óxido de hierro.

la influencia de la humedad y demás agentes atmosféricos; así es que en Inglaterra, por sus condiciones climatológicas, es más común que en el centro, y sobre todo que en el mediodía de Europa, agregar á la pasta estos silicatos.

Carbones; carbonilla.—Son asimismo materias desengrasadoras, que se deben emplear siempre que sea posible. Gozan de la propiedad de quemarse en el interior de la pasta, acelerando la cochura y repartiendo con regularidad el calor; contribuyen á dar á los ladrillos dureza y resistencia; realizan una economía notable en el combustible, y si bien los productos presentan cavidades, no son porosos, sino ligeros y de buena calidad.

Aserrín; paja.—Por la misma razón que los carbones, dan estas substancias menor densidad á los ladrillos, pero á veces no resultan con suficiente resistencia.

Observaciones generales.—Además de todos los cuerpos que se han indicado, suelen agregarse otros á las arcillas para desengrasarlas, tales son las *cenizas de cok*, la *piedra pómez*, las *tobas*, el *talco*, la *lava*, los *esquistos arcillosos*, etc.; pero ninguno de ellos tiene la importancia de los que preceden.

Es preciso reducir á granos finísimos las substancias desengrasadoras y mezclarlas con la arcilla, de suerte que se obtenga una pasta muy homogénea. Nada puede decirse *a priori* acerca de proporciones, que habrán de fijarse experimentalmente en cada caso.

FABRICACIÓN DE LADRILLOS.

Adobes.—Los ladrillos ordinarios que se emplean en las construcciones pueden ser de arcilla *cruda* ó *cocida*. Los primeros reciben el nombre de *adobes* y sólo se usan para tapias, muros de cerca y obras ligeras, especialmente en las edificaciones rurales; sin embargo, como quiera que los *tapiales*, que no se diferencian de los adobes más que en el tamaño, se usan todavía mucho en España y en los países secos y calurosos, es preciso decir algo acerca de estos materiales. Poco puede añadirse respecto al origen de los ladrillos y á la fabricación de los adobes, á lo que se expresa en los siguientes párrafos, transcritos del excelente tratado de Arquitectura de Reynaud:

«El origen de los ladrillos es tan antiguo que se pierde en la noche de los tiempos; sin embargo, se puede afirmar que debieron emplearse posteriormente á la piedra, y que sólo á consecuencia de las dificultades que se experimentarían en algunas comarcas para procurarse piedras ó para labrarlas, se pensaría en fabricar otros materiales que sirvieran para el mismo uso. No es posible que se haya recurrido á piedras artificiales antes de experimentar la utilidad de las naturales.

»Las formas de los ladrillos más antiguos que se conocen, confirman, en efecto, esta marcha de la industria humana, pues se aproximan mucho á las que recibían las piedras de construcción.

»Los griegos conocían tres clases de ladrillos, que designaban con los nombres de *didoron*, *tetradoron* y *pentadoron*. Los primeros, que los usaron también los romanos, tenían, según Vitruvio, un pie antiguo ó 0^m,296 de lado, por medio pie de espesor. Los de las otras clases eran cúbicos, y debían tener de lado 0^m,592 los más pequeños y 0^m,740 los mayores. Todos estos ladrillos y la mayor parte de los que se emplearon en el Asia Menor y en Egipto, estaban formados de arcilla amasada con paja cortada, y simplemente secada al sol. Su desecación completa exigía mucho tiempo; Vitruvio recomendaba que se dejasen transcurrir dos años á lo menos, y aprobaba que los magistrados de Útica no permitiesen utilizar los adobes, sino después de cinco años de fabricados. Estos materiales presentaban, por otra parte, el inconveniente de no poder resistir á la acción deletérea de las lluvias prolongadas y de las heladas.»

Los adobes que hoy se usan no difieren de los antiguos sino en que se hacen de las mismas dimensiones próximamente que los ladrillos cocidos, con lo que se consigue la notable ventaja de que la desecación es mucho más rápida y no se necesita la larguísima exposición al sol preconizada por Vitruvio.

Los adobes se preparan con tierras semejantes á las que se emplean para los ladrillos comunes, las cuales se amasan con agua y con paja ó heno menudo, que aumenta su cohesión. Á veces en lugar de batir la arcilla, no se hace más que recoger el barro de los caminos, que ha experimentado cierta trituración con el tránsito de los vehículos.

Para que sean económicos los adobes, es preciso fabricarlos en el

mismo sitio en que se han de colocar en obra. Se cava la tierra hasta unos 0^m,30 de profundidad; en el depósito así formado, cuyo fondo se remueve con la azada, se echa agua en cantidad suficiente para hacer una pasta ó barro espeso, ó bien se llevan las tierras, purgadas de cuerpos extraños, á una alberca ó noque, donde se vierte el agua; la pasta se amasa con los piés ó con una caballería. Después de bien amasada se añade la paja ó heno cortado, y se moldean los adobes en *gradillas*, del mismo modo que se explicará para los ladrillos. Se dejan primero secar en la misma era en que se han moldeado; luego que están oreados, se les pone de canto, y más tarde pueden apilarse. Las estaciones favorables para la fabricación son la primavera y el otoño.

Para unir los adobes se emplea la misma arcilla de que aquellos se componen, mezclada con estiércol de buey ó caballo ó con paja muy menuda.

Para que la fábrica de adobes resista á la intemperie, es preciso protegerla con un enlucido, que puede ser una encaladura, una mano de alquitrán ó de pintura, ó un enfoscado de arcilla y paja, que se alisa y comprime con una tabla.

Ladrillos cocidos.—Origen y dimensiones.—Los ladrillos compuestos de arcilla cocida son los que se emplean con frecuencia suma en las construcciones: se aplican también desde tiempo inmemorial. Así se expresa Reynaud en su ya citada obra:

«Los antiguos pueblos de Oriente conocían la cochura del ladrillo, pues la torre de Babel se construyó con ladrillos cocidos, según resulta del siguiente pasaje del Génesis: «*Y se dijeron uno á otro: hagamos ladrillos y cozámoslos al fuego. Emplearon, pues, ladrillos en vez de piedras y betún para unirlos.*» Pero parece que los romanos no los usaron hasta una época relativamente próxima á nosotros; Vitruvio apenas habla de ellos, y no se encuentran restos de este material en ningún monumento, que se pueda asegurar sea anterior al panteón de Agrippa, que data del tiempo de Augusto. Desde esta época con ladrillos cocidos se construyeron la mayor parte de los edificios que levantaron los romanos en las diversas partes de su vasto imperio. Los muros de ladrillo los cubrían, por lo general, con un enlucido de estuco; á veces, con losas de mármol; en ocasiones, quedaba el material al descubierto. Los ladrillos de los romanos

tenían dimensiones variables; algunos eran muy grandes, pero siempre de pequeño espesor, como conviene para obtener una buena cochura.»

En la actualidad el ladrillo se emplea más que la piedra en España, en Bélgica y en Inglaterra; cuando es de buena calidad, las fábricas resultan ligeras, de fácil ejecución y muy resistentes. Los ladrillos comunes son siempre de forma de prismas rectos de base rectangular; su tamaño varía, no sólo de un país á otro, sino en las diferentes localidades. Ordinariamente, se les da en España 0m,28 de longitud, 0m,14 de ancho y de 0m,04 á 0m,045 de grueso; con aquel espesor y con el de 0m,01 que tiene el mortero en las obras corrientes, se necesitan 470 ladrillos para formar un metro cúbico de fábrica. En Francia, los ladrillos de Borgoña, que son los mejores que se emplean en París, tienen 0m,22 × 0m,107 × 0m,055, contándose con que se necesitan 635 para construir un metro cúbico. En Londres vienen á tener 0m,23 × 0m,11 × 0m,065. Las sociedades de Ingenieros y Arquitectos y la administración del Estado, han admitido en Alemania un modelo de ladrillos, cuyas dimensiones son 0m,25 × 0,m12 × 0m,065, que presenta la ventaja de facilitar los cálculos para presupuestos y liquidaciones, porque en un metro cúbico de fábrica corriente entran 400 ladrillos justos.

Operaciones que comprende la fabricación de ladrillos.—Aparte de la elección de tierras y de la determinación de las substancias que convenga añadirles, asuntos de que se ha tratado ya en el artículo precedente, la fabricación de ladrillos comprende cuatro operaciones esenciales, que son: 1.ª, preparación de la pasta; 2.ª, moldeo; 3.ª, desecación; y 4.ª, cochura. De todas ellas habrá que hablar con algún detalle, dando á conocer los procedimientos ordinarios y los perfeccionados, por más que hoy todavía los métodos primitivos son los que casi siempre se practican, porque no exigen gastos considerables de instalación y permiten limitar la producción á las exigencias de la localidad. Tan sólo en la proximidad de las grandes poblaciones ó al pie de obras de importancia excepcional, se preparan los ladrillos á máquina ó se cuecen en hornos especiales, porque tratándose de producirlos en vasta escala, no tienen gran influencia en el precio definitivo los desembolsos iniciales; pero, en general, y á menos que reunan condiciones especiales, los ladrillos no se transportan á grandes distancias, porque, como sucede con todos los materiales baratos, el coste de la conducción aumenta los precios en proporciones considerables.

Medios de reconocer la bondad de los ladrillos.—Antes de describir las operaciones que se han enunciado, conviene dejar sentados los requisitos que habrán de reunir los ladrillos, que resume Claudel del modo siguiente:

1.° Homogeneidad en toda la masa.

2.° Carencia de hendeduras y otros defectos semejantes.

3.° Dureza suficiente para poder resistir fuertes cargas.

4.° Regularidad de formas, para que los tendeles sean de espesor uniforme, y que, por tanto, lo sea también el asiento de la fábrica.

5.° Uniformidad de dimensiones para que los ladrillos de una misma hilada sean de idéntico grueso, y para que se obtengan sin dificultad paramentos regulares.

6.° Igualdad de coloración que, sin embargo, sólo tiene interés para los ladrillos de paramento ó para los que se emplean en decoración.

7.° Facilidad de cortarlos del tamaño que se necesite al ejecutar las fábricas.

Estas cualidades son siempre consecuencia de una fabricación buena y metódica. Los ladrillos malos se conocen inmediatamente por su color amarillo rojizo y mejor aún por el sonido apagado que producen cuando se les golpea con un cuerpo duro; tienen un grano desigual y heterogéneo; se desagregan oprimiendo un fragmento con los dedos; se rompen sin dificultad, y absorben el agua con avidez. Por el contrario, los buenos ladrillos dan un sonido metálico al golpearlos; presentan una fractura de grano fino y apretado, sin manchas blancas ó *caliches,* procedentes de caliza mezclada con la arcilla; tienen, por lo general, una coloración roja obscura; y á veces, aunque no deba considerarse como regla fija de buena calidad, ofrecen en la superficie partes vitrificadas. Los ladrillos bien secos absorben, por término medio, según los experimentos de Salvetat, una cantidad de agua igual al 13,11 por 100 de su peso. Claro es que, además de todos los requisitos señalados, es preciso que los ladrillos no sean heladizos, lo que se comprueba sometiendo un ejemplar á la acción del sulfato sódico, exactamente como se hace con las piedras naturales.

PREPARACIÓN DE LAS PASTAS.

La *preparación de las pastas* con que se han de moldear los ladrillos, es quizá lo que más influye en la calidad de éstos, pues tiene por objeto dar á la materia toda la trabazón necesaria y purgarla de las substancias extrañas perjudiciales. Por desgracia, en la práctica no es común tomar las precauciones que se indicarán, ni en la preparación de las tierras, ni en los trabajos á que luego se sujetan; así se obtienen, ordinariamente, ladrillos baratísimos, pero detestables, de lo que son buen ejemplo la mayor parte de los que se usan en Madrid; si se fabricaran con más esmero, es cierto que subiría el precio, mas en cambio se prepararían ladrillos excelentes, verdaderas piedras artificiales, como sucede en Inglaterra.

La preparación de las pastas comprende varias operaciones, que se estudiarán en cuatro grupos, á saber: excavación de las tierras, exposición de las mismas á los agentes atmosféricos, adición de substancias y amasadura.

Excavación de las tierras.—La excavación de las tierras se hace al descubierto ó por pozos y galerías, conforme la posición del banco de arcilla que se vaya á explotar. Los trabajos se organizan como para los desmontes ordinarios, pero deben hacerse algunas prevenciones, para el caso más corriente, que es el de la excavación al descubierto.

La arcilla ha de tomarse á alguna profundidad, desechando no sólo la tierra vegetal, sino las capas que estén inmediatamente debajo, que, por lo común, encierran en abundancia materias orgánicas y cantos rodados. Si el banco de arcilla no tiene mucho espesor, es preciso cuidar de no hacer muy profundo el desmonte, para que no salga la tierra mezclada con substancias perjudiciales, circunstancia digna de tenerse en cuenta, porque es muy frecuente en las formaciones geológicas que los bancos de arcilla alternen con otros de arena. Por el contrario, si el banco arcilloso es muy potente, resultará más económico organizar la explotación por escalones.

Las excavaciones han de hacerse de suerte que los cortes resulten verticales y no en declive, para que las aguas no deslían las tierras que se hayan de extraer, depositando en ellas las materias que arrastran en suspensión.

La arcilla desmontada se transporta cerca de las albercas ó noques en que ha de sufrir las operaciones sucesivas; pero cuando se trata de fabricaciones en pequeña escala, los depósitos se establecen en el mismo sitio en que se efectúa la cava. Para ello, se organiza ésta del modo siguiente: se abre una primera zanja de un metro próximamente de ancho, de igual profundidad y de una longitud variable, depositando la arcilla utilizable al lado de las aristas del desmonte; á continuación de esta primera zanja, y sin dejar ningún intervalo entre ellas, se abre otra semejante, llenando el primer depósito con las tierras extraídas de ésta; junto á la segunda zanja se abre la tercera, echando en aquella la arcilla que se saque, y así sucesivamente. Á la última excavación se le da más anchura, se deja vacía y es en la que más adelante se principia la amasadura.

Exposición á los agentes atmosféricos.—Como ya se sabe, las tierras arcillosas no se pueden moldear inmediatamente después de excavadas: encierran siempre granos de caliza, piedrecillas silíceas, fragmentos de piritas, etc., que es menester eliminar. Por otra parte, hay que añadir casi siempre substancias que mejoren la calidad de las tierras.

Las materias extrañas de tamaño algo grande, se separan á mano; las que sean más pequeñas, con la zaranda, después de desmenuzar la arcilla, si fuere necesario; á veces se recurre á lavar las tierras, pero es operación que sale cara y que únicamente se usa en Inglaterra, donde se fabrican quizá los ladrillos mejores de Europa. Para que en todos los casos se descompongan y desaparezcan los cuerpos perjudiciales menudos, y para que las arcillas adquieran la trabazón y plasticidad necesarias, se ha observado desde los tiempos más antiguos (y ya lo hacía constar Plinio en sus obras) que no hay ningún medio tan eficaz como dejarlas expuestas algunos meses á la intemperie. Sometidas las tierras á la acción del sol, de la lluvia, de las heladas, de los deshielos, bien en los depósitos provisionales en que suelen colocarse al desmontarlas, bien cerca de las albercas de fábrica, en los establecimientos de alguna consideración; removiéndolas de cuando en cuando con la pala, para que no se produzca un asiento que impida el contacto con la atmósfera de las capas inferiores, se consigue, no sólo que la masa alcance un grado extremo de división, sino que la mayoría de las materias orgánicas y muchas de las minerales se

desprendan formando productos gaseosos. No están bien explicadas las reacciones químicas que se verifican, á pesar de los interesantes trabajos de Brogniart y Salvetat; se comprende también que no deben ser idénticas en las diversas circunstancias; pero lo que sí comprueba la práctica es que entre los gases desprendidos hay notables cantidades de hidrógeno sulfurado, á cuyo hecho corresponde la locución vulgar de que las tierras se *pudren*.

Para que los agentes naturales produzcan el máximo efecto, conviene que obren sobre las tierras durante los meses de invierno; así es que de ordinario se excavan las arcillas en el otoño, experimentan la putrefacción en la estación siguiente, verificándose la amasadura y moldeo en la primavera, época muy á propósito para que no sea demasiado lenta la desecación espontánea.

Cuando por razones especiales no sea posible exponer la arcilla á la intemperie por el tiempo necesario, no debe prescindirse de colocarla en capas delgadas á la acción de las lluvias, ó de los riegos, si el tiempo fuere seco.

Lo que se ha dicho acerca de la manera de someter las tierras á la putrefacción, se refiere á las que se usan para moldear ladrillos: si se tratase de arcillas puras destinadas á la preparación de pastas para objetos delicados, no se pueden dejar al aire libre, porque las alternativas de sequedad y humedad las agrietan y endurecen, necesitándose luego mucho trabajo para hacerlas plásticas. Se conservan en tales casos en grandes tortas, en sótanos húmedos, donde se impregnan de agua y entran en putrefacción, pero sin perder su ductilidad. Cuanto más tiempo se mantengan en este estado, mejor se trabajan y más gana la calidad de los objetos que se fabrican. Cuéntase, aunque no parezca verosímil, que para la elaboración de sus afamadísimas porcelanas no emplean los chinos pastas que no tengan más de un siglo de antigüedad.

Adición de substancias.—Después de haber mejorado las tierras por la exposición á los agentes naturales, y antes de proceder á la amasadura, hay que añadir las substancias engrasadoras ó desengrasadoras que convengan en cada caso, teniendo presente respecto á este punto lo que se ha dicho en artículos precedentes. Para que la mezcla resulte lo más íntima posible después de la amasadura, suelen disponerse en los depósitos ó albercas, por capas alternadas, las arcillas y las materias que se adopten para modificar sus condiciones, á lo menos cuando la amasadura se ha de efectuar por los medios ordinarios, pues cuando se hace á máquina, es preferible introducir en los aparatos, en el momento que vayan á funcionar, las dosis correspondientes de aquellas substancias.

Amasadura.—Sin duda alguna la *amasadura* es la operación más importante de cuantas hay que practicar para la fabricación de ladrillos y otros productos de alfarería que se usan en las construcciones. La amasadura se puede hacer con los pies ó con máquinas; por ahora, sólo se explicará el primer sistema, dejando para más adelante el dar una idea de los aparatos de diversos géneros que se aplican á la preparación de ladrillos.

Si no se usan albercas de fábrica, sino los depósitos que suelen establecerse en el mismo terreno arcilloso al desmontar las tierras, se empieza la amasadura en el último depósito, que se dejó vacío, á cuyo efecto se riega y se introduce parte de la tierra de la penúltima zanja, teniendo cuidado de extenderla bien y de desmenuzar golpeándolas todas las partes que estén apelmazadas; en seguida los operarios pisan la arcilla con los pies descalzos, añadiendo sucesivamente cubos de agua y tierra hasta que la capa de barro espeso tenga una altura de $0^m,30$ ó $0^m,40$. Cada hombre amasa una torta de unos 3 metros de diámetro, moviéndose desde el centro á la circunferencia, en la dirección aproximada de una espiral, á fin de que la mezcla quede batida con uniformidad. Todos los cuerpos duros, todos los grumos, todas las substancias extrañas que encuentren los trabajadores al amasar la pasta deben retirarlos, continuando la operación hasta que la homogeneidad y trabazón de aquella sean perfectas. Mientras se verifica la amasadura, un hombre va de un montón á otro, recogiendo con una pala de madera la tierra que quede en los bordes é incorporándola á la torta correspondiente. Debe cuidarse de humedecer las herramientas para que no se adhiera á ellas la arcilla, porque de lo contrario se seca y se forman grumos, que mezclados luego con la pasta la empeoran.

En algunas localidades, la amasadura se efectúa con bueyes ó caballerías; nunca producen tan buen resultado como los hombres, porque no pueden realizar uno de los trabajos más importantes, es decir, el de limpiar las tierras, separando los cuerpos extraños.

La cantidad de agua que conviene emplear depende de la naturaleza de las tierras; debe proporcionarse de suerte que la pasta quede con la consistencia que tiene la masa de harina con que se fabrica el pan. Una vez terminada la amasadura, procede hacer el moldeo inmediatamente; si la pasta queda expuesta al sol y al aire, se seca y hasta puede no ser utilizable; para impedir una desecación rápida, si no se moldea en seguida, hay que alisar su superficie y abrigarla con esteras ó lonas.

En los establecimientos importantes, la amasadura se ejecuta, según se ha indicado ya, en albercas. Durante el invierno permanecen expuestas las tierras cerca de un albercón revestido de ladrillos cogidos con mezcla hidráulica, cuyas dimensiones deben corresponder á la entidad de la producción que se haya de obtener; para 100.000 ladrillos suelen dársele 4 metros de ancho y de largo y $1^m,50$ de profundidad. Al lado del albercón se dispone una alberca de $2^m,50 \times 1,50 \times 1,25$, revestida también de buena fábrica para que las tierras conserven en ella su humedad y para que no se filtre el agua que se añada.

Se llena el albercón con la tierra que haga más tiempo que se ha desmontado, que, como es sabido, es la mejor; y se vierte en seguida agua, en cantidad variable, pero que, por término medio, será de 60 á 70 hectolitros, y se abandona todo á sí mismo, por espacio de tres días. Transcurrido este tiempo, un operario pisa la tierra en todos sentidos, la divide con la azada en trozos de unos $0^m,25$ de grueso, y la va echando en la alberca, que se llena con la capa que ocupaba aquel espesor en el albercón. Puesta la arcilla en la alberca, la amasa por segunda vez, colocándola luego en la era del alfar, donde la pisa por tercera vez, formando entonces una masa de $0^m,15$ de altura, que cubre con una pequeña cantidad de arena para que no se pegue á los pies; la amasa entonces por cuarta vez, vuelve á añadir arena y pisa de nuevo la pasta. Inmediatamente la divide en grandes panes que lleva al otro extremo del taller, donde los invierte y les hace experimentar otros dos batimientos: un segundo operario transporta la pasta por pequeños trozos á una mesa, donde la vuelve á batir con las manos, cuidando de echar arena de cuando en cuando encima del tablero para que no se pegue la masa; por último, la pasta así trabajada se lleva al banco del moldeador.

Se han hecho conocer los términos extremos de los procedimientos de amasadura con los pies: el menos esmerado, y el que sólo se practica en fábricas, cuyos productos gozan de crédito universal: entre ambos hay multitud de métodos, variables con la localidad y con las condiciones de los ladrillos, cuya explicación detallada no añadiría ninguna idea nueva á las adquiridas sobre este importante asunto.

MOLDEO.

Preparada la pasta es necesario *moldearla*, ó sea fabricar con ella los ladrillos ú otros objetos, dándoles las formas y dimensiones que se desee. El moldeo puede hacerse á mano ó á máquina; por ahora sólo se hablará del primer sistema, dejando para lo sucesivo el hablar de los procedimientos mecánicos.

Aunque en la esencia son iguales los métodos para moldear á mano los ladrillos, varían notablemente los detalles de una á otra localidad. Á fin de que se adquiera una idea exacta de esta operación, se darán á conocer el sistema empleado en varias provincias de España, el que se sigue en Francia y Bélgica y el admitido, por lo general, en Inglaterra.

Procedimiento español.—En una era bien plana y apisonada, se sienta el moldeador, teniendo á su izquierda un cubo con agua, y cerca de sí un molde de uno ó dos compartimientos, llamado *gradilla*, y una tabla ó *rasero*. La gradilla sencilla (fig. 59) es un molde compuesto de cuatro paredes verticales de madera, que dejan entre ellas un espacio prismático de dimensiones algo mayores que las que debe tener el ladrillo, para compensar la contracción que en la pasta produce la cochura (1); con objeto de facilitar el manejo de la gradilla, se hacen más largas las tablas que constituyen las paredes longitudinales, como representa el dibujo. Los raseros tienen, por lo general, un mango normal á la tablilla; se hacen de formas muy variadas, algunas de las cuales pueden verse en la figura 60.

(1) Claro es que si la cocción produce un acortamiento de 10 por 100 en las dimensiones lineales, y el ladrillo ha de tener $0^m,28 \times 0^m,14 \times 0^m,04$, las aristas correspondientes del paralelepípedo que determina la gradilla, habrán de ser respectivamente $0^m,311$, $0^m,155$ y $0^m,044$.

Un muchacho pone á la derecha del moldeador un montón de pasta preparada; el operario coge una gradilla, la moja en el cubo y después de colocarla en el suelo la llena de barro, extendiéndolo perfectamente con la mano izquierda y quitando luego con el rasero, que tiene en la derecha, la pasta excedente que echa al montón. En seguida se retira un poco, levanta el molde y lo introduce en el agua, repitiendo las mismas operaciones. Cuando los ladrillos han tomado alguna consistencia (generalmente después de haber transcurrido doce horas), un muchacho los coloca verticales ó apoyándose de dos en dos, haciendo desaparecer al mismo tiempo con un cuchillo las imperfecciones más aparentes.

Un moldeador práctico prepara de este modo 800 á 1.000 ladrillos por hora, pero con una pasta poco consistente; cuando se da á ésta la cohesión necesaria para moldear piezas resistentes y de buena calidad, no es aventurado decir que la producción se limita por lo menos en un 50 por 100.

Procedimiento francés ó belga.—El moldeo se hace en la era del alfar sobre tablas, ó mejor en un banquillo, cuya superficie se espolvorea con arena seca para que no se pegue la arcilla. Los enseres que se necesitan son un rasero, una raedera para limpiar los moldes, un cubo con agua, un cajón lleno de arena y varias gradillas de las formas ya descritas, pero que se hacen de madera en su totalidad, ó cubriendo con chapa de hierro las ocho aristas de las bases, ó forrando de aquel material las cuatro caras laterales, ó bien construyendo de palastro todo el molde, según la menor ó mayor perfección que se desee obtener en los productos.

La arcilla se lleva al taller de moldeo, en carretillas y pequeñas porciones; un muchacho echa en el banquillo un montón de pasta, y otro presenta al moldeador una gradilla lavada, que ha introducido húmeda en la arena seca. El moldeador la llena de barro, quita el exceso con la mano é iguala la superficie con el rasero; mientras tanto, el segundo muchacho prepara otra gradilla. Un peón coge la que está llena, la hace deslizar hasta el borde del banco, y en seguida, por medio de una rotación de 90°, la coloca de suerte que insista en una de las paredes longitudinales, para transportarla sin que se caiga el ladrillo: la lleva así al secadero, la pone de canto en el suelo y después, por una sacudida brusca, la invierte, haciendo que

el ladrillo quede descansando en una de sus dos caras mayores. Entonces se puede sacar verticalmente el molde, sin que se deforme la pasta, volviendo á llevar la gradilla al banco de moldear. Todos los operarios continúan del mismo modo, dedicado cada cual á su tarea.

Como término medio, un moldeador prepara al día unos 6.000 ladrillos; pero vale más que no pase de 2 ó 3.000 y que trabaje con pasta consistente.

Procedimiento inglés.—Los enseres que se usan en Inglaterra para el moldeo, se asemejan mucho á los que se emplean en Francia, aunque en general están construídos con más esmero. Los moldes, no sólo tienen siempre las aristas cubiertas de láminas de hierro pulimentadas, sino que las paredes interiores están también forradas de chapas del mismo metal, trabajadas y ajustadas con el mayor cuidado. El banco del moldeador está formado de un tablón cuya cara superior es perfectamente lisa y que está sostenido por cuatro pies bastante sólidos. En uno de sus extremos, á la izquierda del moldeador, se hallan dos pequeños compartimientos, *A* (fig. 61); uno de ellos está lleno de arena para espolvorear las gradillas; el otro contiene unas 30 tablillas bien planas y de una superficie un poco mayor que las caras más grandes del ladrillo. Del mismo extremo del banco parten dos viguetas, *B*, colocadas perpendicularmente al lado menor de aquel y sostenidas por un caballete; las dos viguetas dejan entre sí un espacio pequeño y están unidas por una tabla clavada á sus caras inferiores: las superiores enrasan con el banco y llevan dos medias cabillas de hierro que forman una especie de carriles. El moldeo se hace como en el procedimiento francés; pero en lugar de entregar el molde lleno al aprendiz, el moldeador saca él mismo el ladrillo, á cuyo fin toma una de las tablillas de que ya se ha hablado, la pone encima del molde y da una vuelta completa al conjunto; en seguida, levantando el molde por sus extremos, deja el ladrillo sobre la tablilla. Coloca esta última cargada en los carriles, y por una pequeña impulsión la hace deslizar. Hecho esto, el moldeador espolvorea con arena la gradilla, forma otro ladrillo y continúa repitiendo las propias operaciones. Cuando hay en los carriles 10 ó 12 ladrillos, un peón los lleva al secadero, colocándolos en una carretilla de forma especial, que se representa en la figura 62.

Una vez en el sitio que se debe descargar, toma el peón una ta-

blilla igual á las que sostienen los ladrillos, la aplica á la superficie superior del que se va á sacar de la carretilla, y oprimiendo el ladrillo entre las dos tablillas (fig. 63), lo pone de canto en la era, lo que no ofrece dificultad, tanto porque en Inglaterra se hacen los ladrillos con pasta bastante espesa, cuanto porque su grueso es mayor que el usado ordinariamente en Francia y en España.

Cuando están ya en el suelo del secadero los ladrillos que caben en una carretilla, el peón arregla, golpeando con una de las tablas, los ángulos ó las aristas que puedan haberse deformado, y vuelve al banco del moldeador con las tablillas, á recoger una nueva carga de material.

Todas estas operaciones marchan con mucha rapidez. Un buen taller de moldeadores ingleses, compuesto de un operario que prepara la tierra, de un moldeador y de un aprendiz, puede producir en quince horas de trabajo 4 ó 5.000 ladrillos, que equivalen en volumen á 5 ó 6.200 de los franceses y á 4.200 ó 5.200 de los españoles.

Se fabrican á veces en Inglaterra ladrillos que presentan en una de sus caras mayores una depresión poco profunda, que se obtiene añadiendo á la gradilla ordinaria un fondo en relieve. Este fondo, formado de una lámina de palastro pulimentado como las paredes laterales de la gradilla, está fijo, por lo general, al banco de moldear, y las operaciones se hacen exactamente del mismo modo que en el caso ordinario. El objeto del hueco es poder interponer más mortero entre los ladrillos, dejando, sin embargo, tendeles muy pequeños al exterior. Estos ladrillos se emplean, sobre todo, para la construcción de depósitos y acueductos.

DESECACIÓN.

Objeto de la desecación.—La *desecación* tiene por objeto dar al ladrillo cierta solidez, quitándole la mayor parte del agua que encierra; de este modo, no sólo se economiza una cantidad notable de combustible en la cochura, sino que ésta se regulariza y se evita que los ladrillos salgan porosos, agrietados y poco resistentes, como acontece cuando no se han secado de antemano.

Condiciones del secadero.—El *secadero* debe establecerse en una era próxima al taller de moldeo para no alargar inútilmente

la distancia de transporte, y para disminuir las deformaciones que á veces se manifiestan, durante la conducción, en los ladrillos recién moldeados. El terreno á propósito para secadero no ha de ser húmedo ni estar demasiado asoleado; la acción del sol es muy irregular, y produce con frecuencia una desecación brusca, que raja ó hiende la pasta. Esta observación es tan importante, que cuando se eleva mucho la temperatura, los ladrilleros inteligentes cuidan de resguardar los ladrillos, ya espolvoreándolos con arena, ya disponiendo con pértigas y esteras una especie de toldo que amortigüe los efectos del sol, dejando al propio tiempo que el aire circule.

Escogido el sitio para secadero, se quitan todas las hierbas con la azada y se regulariza el terreno para transformarlo en una era tersa y consistente, que se cubre de una ligera capa de arena fina y seca. Para obtener ladrillos bien configurados, sin encorvaduras ni alabeos, es indispensable que la era del secadero no se deforme, á cuyo fin debe recomendarse un apisonamiento enérgico, que convendrá repetir al principiar cada campaña. También será muy oportuno, cuando las circunstancias lo exijan, sanear el terreno y dar salida á las aguas de lluvia, recogiéndolas en cunetas abiertas en el perímetro de la era.

Desecación previa.—Los peones encargados de transportar al secadero los ladrillos, los colocan de plano en el suelo, como se dijo al hablar del moldeo; sin embargo, si tuvieran suficiente grueso podrían ponerse desde luego de canto, como se practica en Inglaterra. Sitúanse los ladrillos unos al lado de otros, de manera que el conjunto ofrece el mismo aspecto que si se hubiere enladrillado la era (fig. 64); no está de más echar sobre ellos una capa delgada de arena, que se oponga á que la pasta se agriete; pero si ésta es bastante arenosa, puede prescindirse de dicha precaución.

Se dejan los ladrillos de plano todo el tiempo que sea necesario para que adquieran alguna consistencia en la cara expuesta á la acción del aire; claro es que el período variará con la naturaleza de la pasta empleada, con la temperatura y con el estado higrométrico del ambiente; pero casi nunca excede de veinticuatro horas. Cuando se reconozca que el ladrillo opone cierta resistencia á la presión del dedo; cuando es algo sonoro y de color uniforme, y cuando se puede sostener sin romperse ni alabearse, descansando en una de las

caras limitadas por la mayor y la menor de sus tres dimensiones, se pone de canto en el mismo sitio, quedando los ladrillos como se indica en la figura 65. Así se conservan algún tiempo antes de proceder á la desecación definitiva.

Á pesar de lo que se ha expuesto, convendrá apresurarse á colocar los ladrillos de canto si amenaza lluvia, porque si el agua llega á caer en abundancia, los deslava y pueden quedar inservibles.

Perfiladura y prensadura.—Antes de disponer los ladrillos, como en seguida se verá, para que acaben de secarse, se *perfilan*, cogiéndolos uno por uno y quitando con un cuchillo ordinario las rebabas de los cantos para sacar aristas vivas y limpias.

Los ladrillos que hayan de formar paramentos en la construcción, suelen someterse á una *prensadura*, que se efectúa golpeando sus caras con una pala de madera (fig. 66); así se aumenta la compacidad de la pasta, se favorecen la desecación y la cochura, y se obtienen productos más duros y resistentes; pero es á costa de un sobreprecio en la mano de obra.

Desecación definitiva.—La segunda parte de la desecación se verifica colocando los ladrillos en *rejales*, esto es, apilándolos de manera que el aire pueda circular libremente á su alrededor, para quitarles la mayor parte de humedad que contienen todavía, y dando á la pila suficiente estabilidad para que se conserve todo el tiempo que exija la desecación.

Para levantar un rejal se marca con una cuerda su dirección longitudinal y se dispone á lo largo de ella una fila de ladrillos de canto, cuyas aristas mayores formen un ángulo agudo con aquella línea; encima de esta fila se coloca otra que haga con la cuerda un ángulo suplementario del primero; sobre la segunda fila corre una tercera, paralela á la primera; encima otra, paralela á la segunda, y así sucesivamente. Entre dos ladrillos consecutivos de una misma fila, se deja siempre un vano de 1,5 ó 2 centímetros. Al lado de estas filas superpuestas se establecen otras exactamente del mismo modo, pero de suerte que no se toquen dos montones inmediatos, sino que quede entre ellos un hueco en planta de unos 2 centímetros. Los extremos se consolidan con pilares de ladrillos, dispuestos como en el cuerpo del rejal, pero con la diferencia de que las hiladas se cortan á escuadra. Las dos ó tres últimas filas de cada montón, se colocan de

modo que las esteras ó lonas con que se cubre el rejal afecten la inclinación de los tejados ordinarios. Por regla general, la altura de los rejales no pasa de 2 metros; su espesor es igual á la longitud de cuatro ladrillos, mas la que corresponde á los tres intervalos, que entre ellos se dejan, es decir, que viene á ser de $1^{m},18$, admitiendo el largo de los ladrillos españoles; la longitud es indeterminada. La figura 67 hace ver en planta la disposición de los dos primeros lechos y el alzado lateral de un rejal.

El suelo en que se establecen los rejales, no sólo ha de estar muy seco, sino que conviene cubrirlo con una capa de paja, que tiene por objeto impedir que el primer lecho de ladrillos atraiga la humedad, y al mismo tiempo facilitar la circulación del aire por la parte inferior; en los lechos superiores penetra con libertad, en virtud de las disposiciones reseñadas.

Á veces se elevan los rejales debajo de cobertizos construidos á propósito, y es claro que entonces no hay que emplear esteras y se puede dar á las pilas la forma general de paralelepípedos rectos de base rectangular.

Los ladrillos permanecen en los rejales un espacio de tiempo que depende, lo mismo que en la desecación previa, de la naturaleza de la arcilla y de las condiciones del aire: hay localidades en que se secan los ladrillos en veinticinco ó treinta días á lo sumo; en otras, es preciso prolongar más la operación. En general, cuanto más seca esté la pasta, antes y mejor se cocerá. Los caracteres distintivos que han de reunir los ladrillos para que sea conveniente suspender la desecación y llevarlos al horno, son: no conservar la impresión del dedo cuando se les oprime con fuerza; dar un sonido claro al golpearlos con un cuerpo duro; presentar fractura limpia, y haber adquirido bastante solidez para poder emplearse en la composición de las fábricas interiores de un edificio.

COCHURA.

Si las operaciones precedentes se han ejecutado con esmero é inteligencia, los ladrillos serán sólidos y de formas regulares; pero sólo la *cochura* puede hacerlos inalterables y convertirlos en verdaderas piedras artificiales. La acción del fuego debe prolongarse hasta que los silicatos fusibles presenten un principio de vitrificación, esto

es, hasta que en las superficies de los ladrillos aparezca una especie de película escarchada, que, en general, sirve para preservar á los materiales puestos en obra de los efectos de las heladas.

El momento en que conviene detener la cocción es difícil de apreciar, y únicamente la práctica puede determinarlo. Si la vitrificación es excesiva, los ladrillos adquieren poca adherencia con las mezclas, y las fábricas no quedan bastante trabadas; si, por el contrario, la cochura es incompleta, los ladrillos son poco resistentes y se corre el grave riesgo de que se aplasten cuando se les somete á esfuerzos algo considerables.

La cocción puede verificarse en hornos provisionales, que desaparecen por completo después de la operación, que se forman con los mismos ladrillos que se van á cocer y que reciben el nombre de *hormigueros*, ó bien en *hornos definitivos*. El primer procedimiento no da productos tan regulares como el segundo, y exige más gasto de combustible; pero su sencillez, la circunstancia de que el hormiguero puede establecerse en cualquier parte y la economía que introduce en los transportes y en la instalación, explican que el Ingeniero tenga que aplicarlo con frecuencia, y demuestran la necesidad de conocerlo con algún detalle.

Cochura en hormigueros.—Antes de elevar el macizo se iguala y apisona el suelo y se sanea, además, siempre que sea húmedo ó haya temor de que se inunde. Los hormigueros pueden ser de planta rectangular ó cuadrada; en el primer caso, el lado mayor es próximamente igual á tres veces y media la altura del macizo, y el menor tiene triple longitud que la misma altura. En cuanto á las dimensiones absolutas, dependen del número de ladrillos que se hayan de cocer, que, en general, son más de 50.000 y pasan rara vez de 200.000, aunque en ocasiones se elevan á medio millón: la altura de los hormigueros no suele exceder de $6^m,50$.

Después de trazar el rectángulo de la planta, se coloca un primer lecho ó *daga* de ladrillos de canto, como indica la figura 68, cuidando de dejar entre cada dos filas consecutivas un hueco igual al espesor de un ladrillo, que se llena de combustible menudo, que puede ser de mala calidad. Encima de la primera daga se establece la número 2, formada también de ladrillos de canto, pero normales á los de la anterior; esta segunda daga se interrumpe en *A*, á una distancia del extremo igual á la longitud de tres ladrillos, y la interrupción se repite, en toda la extensión del hormiguero, en el sitio correspondiente á cada cinco ladrillos de la daga núm. 1. La tercera daga se coloca como la primera y la cuarta como la segunda; pero conservando los huecos marcados por ésta, y formando así unos hogares que ocupan todo el ancho del hormiguero. Los intervalos entre filas consecutivas sólo se dejan hasta la tercera daga; en las siguientes los ladrillos se disponen al tope, separándose cada dos ó tres lechos, según la calidad del combustible, por una capa de carbón menudo de $0^m,02$ ó $0^m,05$ de espesor. Las dagas números 5 y 6 se colocan como indica la figura; la quinta estrecha por cada lado, y en una longitud igual á la cuarta parte de un ladrillo, los espacios reservados para hogares, y la sexta los cierra por arriba, dejando sólo de trecho en trecho unas chimeneas cuadradas *B*, por las cuales se echan brasas para propagar el fuego á todo el hormiguero. Antes de cubrir los hogares se llenan de ramas secas y de fragmentos gruesos de carbón.

Dispuestas las seis dagas, en la forma que se ha indicado, se encienden todos los hogares; al cabo de diez y ocho ó veinte horas, la masa está candente; se tapan entonces con ladrillos y arcilla las bocas de los hogares y de las chimeneas para moderar la acción del fuego, y después se continúa elevando el hormiguero, por medio de dagas cruzadas de ladrillos puestos de canto y al tope, separadas por capas de carbón menudo.

Las dagas no se establecen siempre con sujeción estricta á la descripción que antecede; pero el principio á que obedecen es el mismo, y no hay necesidad de detenerse á explicar diferencias de detalle.

Á medida que se levanta el hormiguero, se cubren sus paredes de una *camisa* ó enlucido de arcilla mezclada con arena y paja, para disminuir la contracción de aquella y darle consistencia; de la misma manera se cubre la última daga de ladrillos. El hormiguero afecta en conjunto la forma de un tronco de pirámide de base rectangular (fig. 69).

Por muchas que sean las precauciones que se tomen para formar los hormigueros, es difícil, por no decir imposible, que la cochura sea uniforme en toda la masa. Se corrige, hasta cierto punto, la re-

partición desigual del calor, ya destapando uno ú otro de los hogares, ya abrigando las partes expuestas á los vientos dominantes, por lonas ó esteras, *A* (fig. 69), sostenidas por pértigas: esta última precaución es indispensable cuando el tiempo se mete en aguas. Á pesar de todo, sucede casi siempre que los ladrillos que ocupan el centro del hormiguero se vitrifican, al paso que los próximos á la camisa no reciben más que un principio de cocción; estos últimos, cuando se hacen varias hornadas, se utilizan para formar la base del hormiguero siguiente.

Se emplea como combustible la hulla, cuando en la localidad se puede adquirir á precios bajos; pero producen también buenos resultados la turba y el carbón vegetal. La cantidad de combustible que se consume depende de su naturaleza, de la mayor ó menor habilidad de los encargados de dirigir la cochura, y de otra multitud de circunstancias; ordinariamente, oscila entre 150 y 280 kilogramos, por millar de ladrillos, aun cuando hay autoridades en la materia, como Bonneville, que juzgan que debe adoptarse, como gasto medio, el de 4 hectolitros de hulla ordinaria, ó unos 380 kilogramos, por millar de ladrillos (1).

Como no debe colocarse una daga hasta que el fuego actúe en la precedente, á fin de no ahogar la combustión, se tarda de ocho á diez días en construir un hormiguero para 200.000 ladrillos; en la cochura se invierten de doce á quince, contados desde el momento de encender los hogares.

Cochura en hornos definitivos.—Generalidades.—Los hornos para ladrillos constan de los mismos elementos esenciales que se indicaron al hablar de los empleados para la calcinación de las calizas. Los ladrillos se colocan en el interior por dagas cruzadas y dispuestas de un modo semejante á las que constituyen la base de los hormigueros, con objeto de que los productos de la combustión se repartan por toda la masa y la cuezan con regularidad: claro es, sin embargo, que no hay que formar los hogares, que, por regla general, constituyen parte integrante de los hornos fijos. La capacidad del vientre, ó de cada uno de los vientres de un horno, es muy variable:

(1) Se supone que la densidad de la hulla sea 0,95.

se consideran pequeños cuando no caben más de 25.000 ladrillos, y son ya grandes cuando admiten 100.000.

Los combustibles que se emplean con más frecuencia son la hulla, la turba, la leña y la paja ó estiércol; á igualdad de condiciones, la turba y los últimos son los más económicos; pero hay que recurrir siempre al combustible que más abunde en la comarca. La forma y tamaño de los hogares dependen de la substancia que se haya de quemar; como el carbón no arde bien en contacto con sus cenizas, los hogares se dividen, cuando se usa dicho combustible, en dos compartimientos, separados por una rejilla, sirviendo de cenicero el inferior; los hogares en que se quema leña ó paja son siempre los de mayor extensión, pero se puede prescindir del cenicero.

El combustible que se emplee influye mucho en la forma y disposición que deba darse á los hornos, porque es preciso procurar que los gases calientes se propaguen con uniformidad en la masa. En hornos cerrados de hogar lateral ó interior, será preferible un combustible de llama larga, como la leña, la turba ó la hulla seca. Por el contrario, si no se tienen á mano más que hullas grasas ó de llama corta, se obtendrán mejores resultados empleando hornos en que, como en los hormigueros, los ladrillos estén mezclados con el carbón. Si, á pesar de todo, se tuvieran que usar combustibles sin llama, en hornos cerrados, deberán éstos ser pequeños para que no haya grandes diferencias en la cantidad de calor que reciban los diversos puntos.

El combustible necesario para cocer un millar de ladrillos, varía entre límites muy extensos: puede conceptuarse como un término medio, en hornos ordinarios, unos 2 hectolitros, ó sean 190 kilogramos de hulla, que es el consumo de los hornos de Issy, cerca de París. Sin embargo, al consignar aquel guarismo se parte de la base de que la cochura se dirija con inteligencia, y que todos los trabajos estén bien organizados. Ha de empezarse por someter los ladrillos, durante veinticuatro horas, á un calor suave; se tienen después á una temperatura media, por espacio de treinta y seis horas, y, por último, se eleva gradualmente el calor hasta que llegue á su máxima intensidad, conservándolo constante mientras dure la cochura. El horno no debe descargarse hasta que los ladrillos estén fríos; de lo contrario, se agrietarían y perderían sus formas: el enfriamiento se

ha de verificar con lentitud, para evitar el mismo inconveniente, lo que obliga á tapar todas las entradas del aire y á tomar otras muchas precauciones que sólo la práctica puede enseñar.

La duración de la cochura es también muy variable. En los hornos ordinarios, de 40 á 60.000 ladrillos de cabida, suele estar encendido el fuego de diez á doce días, y el enfriamiento se prolonga cinco ó seis más.

Con hornos bien dispuestos se disminuyen bastante las pérdidas de calor por radiación, y se economiza combustible respecto al que se consume en los hormigueros, como lo demuestran los términos medios que se han señalado; se pueden obtener asimismo productos de buena calidad, pero nunca uniformes por completo, pues los ladrillos de una misma hornada no tienen jamás el mismo grado de cochura. En Madrid se llama ladrillo de *pinta, pintón* ó *recocho* al más cocido, que tiene la superficie vitrificada y presenta un color encendido ó amarillo bajo, según la calidad de las arcillas; *portero* ó *pardo* al poco cocido, que se distingue por su mal color y poca resistencia, y *rosado* al que se encuentra en circunstancias medias de cocción. Los ladrillos recochos, en que la vitrificación se ha extendido á casi toda la masa, se conocen con el nombre de *santos*. Estos últimos están en extremo deformados y no se unen bien con los morteros, excepto cuando se parten en fragmentos, para emplearlos en la preparación de hormigones, que dan inmejorable resultado; los recochos tienen excelentes condiciones de resistencia y sólo ofrecen el inconveniente de que suelen estar algo alabeados, lo que les hace poco á propósito para paramentos; los rosados se pueden usar, aunque no resisten esfuerzos tan considerables como los recochos; los porteros son flojos y muchas veces heladizos, de suerte que no deben aplicarse más que en rellenos, y con frecuencia se cuecen de nuevo en otra hornada.

Clasificación de los hornos.—Los hornos que se emplean para la cocción de los ladrillos, afectan disposiciones muy diferentes y pueden dividirse en *intermitentes* y *continuos*. Los primeros son aquellos en que se necesita apagar el hogar para descargar el horno, y los segundos los que proporcionan ladrillos cocidos, sin apagar el fuego. Aquellos se subdividen, á su vez, en descubiertos ó cubiertos: los *hornos descubiertos* tienen, por lo general, planta cuadrada ó rectangular y son sencillos ó dobles; los *cubiertos* suelen ser de sección cuadrada ó circular, unas veces sencillos y otras múltiples, pudiendo estos últimos estar yuxtapuestos ó superpuestos.

Los hornos continuos se clasificarán en *hornos de hogar móvil*, de *carga móvil*, *regeneradores* y *anulares*.

Sin describirlos todos, se dará, sin embargo, una idea de los de cada clase y de sus ventajas é inconvenientes, explicando sólo con detalle los hornos descubiertos más sencillos y los continuos más perfeccionados.

Hornos intermitentes descubiertos.—Se usan mucho por la facilidad de su construcción y por la sencillez de las operaciones que requieren, por más que haya en ellos, como en los hormigueros, mucha pérdida de calor, aunque no en tan grande escala. Consisten en un espacio cerrado por cuatro muros (fig. 70), enterrado por lo general en el suelo hasta cierta profundidad, ó sostenido algunas veces por tres de sus caras en un ribazo ó ladera. En la parte inferior está el hogar ó caldera, *A*, que es un cañón cubierto por una serie de arcos, *B*, distantes entre sí la longitud de medio ladrillo, para dejar paso á la llama. Sobre estas bóvedas y el macizo lateral va la parrilla, *c*, que sirve para sostener la carga, y en el extremo del hogar se coloca la chimenea, *D*, cuyo tiro se regula por medio de un registro dispuesto en la boca, *E*. Se entra en el horno por dos aberturas, *F*, al nivel del suelo, y al hogar se baja por la rampa, *G*. Todas estas disposiciones tienen por objeto disminuir, en lo posible, las pérdidas de calor.

Se carga el horno colocando ladrillos de canto sobre la parrilla, algo separados entre sí y poniendo encima de la primera daga otras sucesivas cruzadas; en algunos sitios se dejan claros algo mayores que los que quedan entre las filas de los diversos lechos, con objeto de regularizar el tiro y facilitar la circulación del calor. Después de cargar el horno, se cierran con adobes ó arcilla las aberturas *F*, y se cubre la parte superior con tejas, dejando sólo algunos respiraderos que no reciban viento muy fuerte. El fuego debe empezar á encenderse cuando se ha colocado la cuarta daga.

El horno descrito supone que se quema leña, pudiendo modificarse el hogar para otra clase de combustible.

Estos hornos pueden también hacerse dobles, yuxtaponiendo otro

compartimiento por la parte posterior, cuando se quiere fabricar de una vez más ladrillos de los que se cuecen con un hogar. Hay que tener presente que como el combustible se tiene que introducir por un extremo, nunca convendrá que el hogar sea demasiado profundo.

En general, los muros de los hornos intermitentes deben ser bastante gruesos, y en muchos casos se construyen con dos envolventes de fábrica, rellenando el hueco que éstas dejan entre sí con cenizas ú otros cuerpos malos conductores del calor.

Hornos intermitentes cubiertos.—No pudiendo usarse los anteriores para una fabricación permanente, por estar expuestos á las lluvias, golpes de viento, etc., se ha recurrido á los hornos cubiertos, en los que hay una bóveda fija para cerrar la parte superior, la cual, en algunas ocasiones, tiene varias aberturas para la salida de los gases, y en otras se halla en comunicación con una chimenea.

Por la parte superior ó por los costados, se practican aberturas para cargar y descargar los ladrillos, y durante la cocción, se enlodan para concentrar el calor en el interior del horno. La sección de estos hornos es cuadrada ó circular, variando, según los casos, la disposición de las bóvedas y de los hogares, el número de éstos y la manera de circular los productos de la combustión.

Para disminuir aún más las pérdidas de calor y aprovechar la elevada temperatura de los gases que se desprenden por la boca del horno, utilizándolos para la desecación de otra hornada, se han construído hornos cubiertos múltiples, *yuxtapuestos* ó *superpuestos*. En los primeros se hacen pasar los gases que salen del horno en que se está verificando la cochura al inmediato, antes de salir por la chimenea, y cuando se ha terminado la primera hornada, se enciende el hogar del segundo compartimiento con poco fuego, hasta que el primero está otra vez cargado, en cuyo caso se hacen entrar en él los gases calientes, ahorrándose así bastante combustible. Al mismo tiempo, se consigue con esta disposición disminuir la superficie que está constantemente en contacto con el aire exterior.

Los hornos superpuestos evitan el tener que invertir, como en los anteriores, la dirección natural de los productos de la combustión, haciéndoles marchar de arriba á abajo. Se componen de varios pisos de sección rectangular ó circular, y necesitan, como es natural, menos combustible para cocer los ladrillos colocados en los pisos superiores,

por haberse calentado ya con los gases que proceden de los inferiores.

En los hornos múltiples se pueden cocer, al mismo tiempo que ladrillos, calizas, piedras de yeso ú otras substancias, en diferentes compartimientos. Lo mismo se hace, en ocasiones, en los hornos sencillos ordinarios; pero los resultados no pueden ser buenos, porque las diversas materias requieren temperaturas distintas para su calcinación.

Por muchas que sean las precauciones que se tomen en los hornos intermitentes para aminorar las pérdidas de calor por radiación, son éstas bastante considerables, sobre todo desde que termina la cochura hasta que se pueden sacar los ladrillos; así es que, en las explotaciones en grande, hay tendencia marcada á construir hornos continuos.

Hornos continuos de hogar móvil.—Para que se comprenda el fundamento de esta clase de hornos, se ha representado en la figura 71 un ligero diagrama. Supóngase un espacio rectangular ó cuadrado, dividido, por ejemplo, en cuatro compartimientos, V, V', V'', V''', que dejan en los ángulos otras tantas capacidades, E, E', E'', E''', y en el centro una galería, G, alrededor de la chimenea, H. Los compartimientos, V, que son los vientres del horno, comunican con la galería G, con las capacidades de los ángulos y con el exterior, por medio de unas aberturas que pueden abrirse ó cerrarse á voluntad con compuertas. El hogar, F, corre por unos carriles, I, y se pone sucesivamente en frente de cada compartimiento.

Fácil es darse cuenta del modo de funcionar el horno. Si se van á cocer los ladrillos en el vientre V, se abre la compuerta v; se coloca delante el hogar y se abre también la comunicación de aquel compartimiento con la chimenea. Los ladrillos colocados de manera que den paso á los productos gaseosos, y que habían sufrido ya un principio de cocción, ó por mejor decir, una desecación, en la capacidad E''', se someten ahora á una cochura completa. Cuando ésta ha terminado en V se cierran las compuertas y se lleva el hogar á V', donde se repite la operación anterior, de modo que en un momento dado, los ladrillos de V estarán cociéndose, los de V''' enfriándose, en V' se estarán colocando los que contenía el espacio E, y en V'' extrayéndose los ya cocidos y fríos.

Hornos de carga móvil.—En estos hornos los ladrillos se cargan

en vagonetas, que recorren unos conductos cerrados é inclinados, provistos de carriles, y en los que circulan los gases á la temperatura conveniente para la cocción. Las canales se establecen de tal suerte, que el tiempo invertido en recorrerlas sea suficiente para la cochura y enfriamiento completo de los ladrillos, y llevan dos compuertas, una, que sirve para introducir los ladrillos crudos, y otra, para darles salida después de verificada la cocción. Cuando los ladrillos entran por la parte superior, es preciso no abrir las dos compuertas á un tiempo, porque la corriente de aire pudiera producir un enfriamiento. El movimiento de las vagonetas se establece con facilidad, pues las descendentes pueden unirse por un cable á las ascendentes, y con poco gasto de fuerza, se logra determinar la marcha de unas y otras.

Algunos hornos pertenecientes también á esta clase, son de plataforma circular giratoria; están divididos, por medio de muros radiales, en compartimientos en que se colocan los ladrillos y que pueden someterse sucesivamente á la acción de un hogar fijo en el centro.

Hornos regeneradores.—Hace ya algunos años se idearon por los Sres. Siemens unos hornos llamados *regeneradores*, que están fundados en los mismos principios que las máquinas de aire caliente. Se hacen pasar los productos de la combustión, antes de salir á la atmósfera, por un macizo de ladrillos que presenta canales sinuosas y numerosos intersticios, y que se calienta al contacto de aquellos gases. Por los intersticios de este macizo es por donde penetra luego el aire frío, que se hace llegar á un segundo hogar, recobrando así el calor que los productos de la combustión en el primero habían transmitido al macizo: los productos de la combustión de este segundo hogar pasan á su vez por un segundo macizo ó *regenerador* igual al primero, destinado á devolver después el calor de que se ha apoderado, al aire que alimenta la combustión en el primer hogar.

Los principales inconvenientes de estos hornos son: 1.°, que necesitan dos hogares, que es menester cargar y descargar alternativamente, á cada cambio de posición de los registros que regulan la salida de los productos de la combustión y la entrada del aire frío; 2.°, que los aparatos ocupan mucho espacio y se pierde bastante calor por radiación; 3.°, que la máxima temperatura se produce en los hogares y no en la solera del horno. Para salvar estas dificultades, los

Sres. Siemens han reemplazado el carbón con gases combustibles, lo que permite suprimir los dos hogares y producir la combustión en la misma solera del horno. Los combustibles gaseosos se obtienen en aparatos de destilación y se calientan lo mismo que el aire frío en el sistema primitivo, es decir, por regeneradores ó macizos de ladrillos.

Claro es que estos hornos se pueden aplicar á industrias muy diferentes.

Horno anular de Hoffmann.—En 1859 construyó Hoffmann, en Prusia, el horno que lleva su nombre y que consta de un espacio de planta circular (fig. 72), en el que una corona, *M*, está dividida en cierto número de compartimientos, 12 por ejemplo. Cada uno de ellos comunica: 1.°, con el exterior, por una puerta, *a*, que puede cerrarse con un murete de adobes ó ladrillos; 2.°, con los compartimientos anterior y posterior por unas compuertas, *b*, de hierro fundido; 3.°, con la parte superior por una porción de aberturas circulares que pueden cerrarse con tapas, *d*, también de hierro colado, y 4.°, por la parte inferior, y por medio de canales, *e*, con otra galería anular, *m*, de la que parten cuatro conductos, *n*, que desembocan en la chimenea, *h*, colocada en el centro. Se pueden abrir ó cerrar las comunicaciones de los compartimientos del horno con la chimenea por unas válvulas, *l*, de hierro fundido, que se manejan con cuerdas y poleas y que ajustan en las bocas de las canales. La chimenea está dividida, hasta cierta altura, en cuatro secciones, cada una de las cuales recibe las corrientes gaseosas procedentes de uno de los conductos, *n*. Para disminuir el coste de la fábrica, no se hace macizo todo el horno, sino que se dejan galerías, *R*, que se rellenan con substancias malas conductoras del calor, como arena, ceniza, etc. Finalmente, el horno, que tiene la altura de un hombre, lleva una cubierta ligera que lo preserva de las lluvias y nieves.

La manera como se verifican las diversas operaciones, es por demás sencilla. Cada compartimiento constituye en realidad un horno en el que se puede efectuar la cochura, disponiendo convenientemente un hogar, ó mezclando el combustible con los ladrillos, colocados en dagas análogas á las que forman los hormigueros. Al empezar á funcionar, se cierran las compuertas, *b*, se cargan todos los compartimientos, se enciende el combustible del compartimiento

núm. 1, y levantando la válvula, l_1, se establece el tiro necesario; se repite la misma operación en el segundo, en el tercero, etc., hasta que estén fríos los ladrillos contenidos en el 1.°; supóngase que esto ocurre cuando el fuego se halla en actividad en el compartimiento 7.° Se cierran entonces todas las aberturas, a, menos la a_1; se alzan todas las compuertas, b, menos la b_{12}, que separa el compartimiento núm. 12 del 1.°, y se cierran todas las válvulas, l, menos la l_{12}. El aire entra por a_1, y al mismo tiempo que enfría lentamente los ladrillos colocados en los compartimientos 2, 3, 4, 5 y 6, que conservan diferentes grados de calor, pues los primeros están sólo templados y los últimos candentes, va adquiriendo una temperatura cada vez más alta, hasta que llega al compartimiento 7, en donde activa de un modo extraordinario la combustión; de allí pasa á la chimenea por los compartimientos 8, 9, 10, 11 y 12, en donde se va enfriando gradualmente, á la par que eleva la temperatura en estos últimos, y principia á cocer, ó á lo menos seca los ladrillos que contienen. Mientras tanto, se han extraído los ladrillos del compartimiento núm. 1, y cuando ha terminado la cochura en el núm. 7, se abre la puerta a_2, se baja la compuerta b_1 y se alza la b_{12}, levantando al propio tiempo la válvula l_1 y bajando la l_{12}. Se empieza á cargar el compartimiento núm. 1 y á descargar el núm. 2; el aire entra por las aberturas a_1 y a_2, produce la máxima temperatura en el compartimiento núm. 8 y pasa á la chimenea por la canal correspondiente al núm. 1. Cuando este último está cargado, se tapia la puerta a_1, se abre la a_3 y se continúa así sucesivamente, efectuando, sin interrupción, la desecación, la cochura, el enfriamiento, la descarga y la introducción de ladrillos.

Las aberturas superiores, d, por su número y disposición, permiten examinar en cualquier momento el estado de la cocción, y acelerarla ó retardarla en los sitios donde sea necesario, agregando combustible ó arena, según conviniere. De este modo, se obtienen productos más uniformes que en los hornos ordinarios. Además de las ventajas señaladas, estos hornos presentan las siguientes: 1.ª, la de no perder más calor que el indispensable para establecer el tiro de la chimenea, hasta tal punto, que no consumen más que la tercera parte de combustible que los ordinarios; 2.ª, la de poderse emplear cualquier clase de combustible; 3.ª, la de ser de fácil acceso la

parte superior por su poca altura, lo que simplifica en extremo la carga y descarga de los ladrillos y la vigilancia de la marcha de la combustión; 4.ª, la de poderse hacer reparaciones en un compartimiento, aislándolo de los demás y sin interrumpir la marcha del horno, cuando no sean demasiado considerables las obras que hayan de ejecutarse; 5.ª, la de poder aumentar ó disminuir la intensidad del calor, sirviendo, por tanto, estos hornos para fabricar tejas, cales y cementos, y para otras muchas industrias; y 6.ª, la de obtenerse economía en los gastos iniciales de construcción, respecto á los originados por los hornos ordinarios, á igualdad de producción.

Con un horno anular de dimensiones ordinarias (unos 19 metros de diámetro exterior), se pueden cocer fácilmente de 10 á 15.000 ladrillos por día.

Las ventajas reseñadas han hecho que se propaguen los hornos anulares con mucha rapidez: en 1867 se habían construído 250: 3 en Francia, 50 en Inglaterra y la mayor parte de los restantes en la Alemania del Norte. Estos hornos obtuvieron un gran premio en la Exposición universal de París de 1867.

FABRICACIÓN MECÁNICA DE LADRILLOS.

Se darán á conocer los principales tipos de máquinas empleadas para amasar las arcillas y para moldear y prensar los ladrillos.

AMASADURA MECÁNICA.

Las *amasaderas mecánicas* ofrecen ventajas cuando hay que trabajar grandes cantidades de arcilla; pero debe procurarse que la tierra esté muy limpia y no contenga cuerpos extraños. Con este objeto se suele hacer pasar la tierra antes de amasarla entre dos cilindros que disten unos 3 milímetros, operación que tiene el inconveniente de que si la piedra es menuda, se tritura y queda mezclada con la arcilla.

Amasadera de Clayton.—La amasadera más usada en España es la de Clayton (fig. 75). Consiste, por lo general, en una caja, A, de sección cuadrada, formada de tablones clavados á cuatro

pies derechos que se hincan en el suelo: en el centro de la caja va colocado un árbol vertical, *B*, armado de cuchillos, dispuestos en forma de hélice, al que se comunica un movimiento de rotación por una palanca horizontal de la que tiran caballerías, ó por cualquier otro medio. La tierra mezclada con el agua se echa por la parte superior, y sale perfectamente amasada por un orificio abierto en el fondo.

En Inglaterra se hace la caja cilíndrica, lo que además de no ejercer influencia sensible en el resultado, dificulta la construcción del aparato. Los ingleses añaden casi siempre á la arcilla, antes de amasarla, una pequeña cantidad de cok en polvo, que tiene por objeto descolorar el ladrillo, sin perjuicio de las ventajas que reporta aquella substancia y que en lugar oportuno se explicaron.

MOLDEO MECÁNICO.

Generalidades y clasificación.—Por regla general puede decirse que no es conveniente el empleo de las máquinas para moldear ladrillos, sino en circunstancias especiales, puesto que, aparte de ser comunmente costosas y de conservación difícil, no producen, en la mayor parte de los casos, bastante economía, á causa de haber operarios muy diestros que hacen, como se ha visto, gran número de ladrillos al día.

Además, son pocas, y aun puede decirse que ninguna, las máquinas que amasan, trituran y limpian la arcilla de substancias extrañas con tanto esmero como lo hacen los hombres, aunque luego el moldeo y prensadura se hagan con más igualdad y prontitud en algunas de ellas. Por consiguiente, sólo cuando la cantidad de ladrillos que se necesite sea muy considerable y no puedan proporcionarla los moldeadores ordinarios, es cuando tendrán buena aplicación las máquinas; así es que no se hará más que dar una ligera idea de los sistemas principales y de sus ventajas y defectos más notables, describiendo únicamente la máquina de Clayton, que es de las más usadas en España.

Se admitirá la clasificación de Malepeyre, que divide las máquinas de moldear en cinco grupos, á saber: *máquinas de émbolo, laminadoras, de helicoide, de molde cortante* y *compuestas*.

Máquinas de émbolo.—Son las más numerosas y generalizadas y pueden subdividirse en dos clases, según la manera de funcionar del émbolo, las de *presión* y las de *choque*.

En las primeras, el moldeo se efectúa por la presión desarrollada por un émbolo ó una plataforma, que, en virtud de un mecanismo cualquiera, desciende con lentitud ó rapidez, ó bien con una velocidad gradualmente creciente. En algunos casos, la presión no se verifica de una sola vez, sino en dos ó tres períodos distintos; así, por ejemplo, en la máquina de Bradley y Craven, que obtuvo privilegio de invención en Inglaterra en 1859, la primera presión se produce por un fondo móvil, que actúa en un plano inclinado colocado debajo de él, y el moldeo se termina por las presiones ejercidas por dos émbolos que obran sucesivamente y de arriba á abajo. Al fin de la operación, el fondo móvil se levanta después de haberse retirado los émbolos y hace saltar el ladrillo fuera del molde.

En las máquinas de choque, se eleva el émbolo hasta cierta altura, por un medio mecánico, y se le deja caer luego sobre la pasta previamente preparada; claro es que entonces obra el émbolo por la fuerza viva desarrollada durante su caída.

Las máquinas de émbolo tienen varios inconvenientes. En primer lugar, los émbolos, al elevarse, arrastran consigo parte de la arcilla ya moldeada, quedando deformados los ladrillos; sin embargo, se puede remediar con facilidad este defecto, ya enarenando con cuidado el émbolo, ya humedeciéndolo después de cada excursión, ya forrándolo con franela ó cualquier tejido vegetal. Otro inconveniente más grave de estas máquinas, consiste en que introducen ó dejan en la pasta cierta cantidad de aire, que se opone á que queden en contacto las partículas, lo que produce ladrillos ligeros, porosos, poco sonoros y de tan escasa cohesión, que se rompen al menor choque. Además, el aire se dilata por la cocción, y si no determina la rotura del ladrillo, produce por lo menos grietas ó soluciones de continuidad, que empeoran notablemente la calidad del material. Para atenuar estos efectos es para lo que se recurre á dividir la presión, como se ha dicho, en varios períodos; otras veces se abren en los moldes y en los émbolos agujeros capilares ó se forran unos y otros de franela, y en algunas ocasiones se prensan los ladrillos después de moldeados. Por último, otro defecto de las máquinas de émbolo

consiste en que, ya porque la presión no sea suficiente, ya porque ejerza influencia el aire que queda en la pasta, parece que si ésta no se halla completamente saturada de agua ó bien amasada, se produce al terminar el moldeo una reacción, que tiende á hacerla salir de los bordes del molde; de suerte que, si no se prensan los ladrillos, no quedan todos del mismo tamaño y sus superficies resultan alabeadas ó desiguales, lo que da mal aspecto á las construcciones ejecutadas con este material.

Á pesar de los inconvenientes enumerados, se usan algunas de estas máquinas con buen resultado, cuando la tierra está mojada y bien amasada (1).

Máquinas laminadoras.—En esta clase de máquinas el moldeo se hace laminando la pasta con uno, dos ó más rodillos ó cilindros.

Las de un solo rodillo pueden subdividirse en tres grupos: 1.°, las máquinas en que el rodillo es un cilindro de gran peso, que no tiene más movimiento que uno de rotación alrededor de su eje. En tal caso, es preciso que los moldes, con la pasta preparada, se vayan presentando para recibir la compresión necesaria, lo cual se consigue por medio de una plataforma horizontal y giratoria, por una cadena de transmisión, ó por una plataforma de movimiento alternativo, que sucesivamente coloque los moldes debajo del cilindro ó los retire de esa posición. 2.° Las máquinas cuyo rodillo, cilíndrico también, tiene además de un movimiento de rotación alrededor de su eje, otro de traslación que le permite ejercer su acción sobre los diversos moldes colocados en una plataforma, que puede ser fija ó estar animada de un movimiento alternativo. 3.° Las máquinas en que el rodillo es cónico y tiene dos movimientos, uno de rotación alrededor de su eje y otro de traslación, circular y continuo, sobre una plataforma fija.

Las máquinas de dos ó más cilindros laminan la arcilla de una manera semejante á la que más adelante se dará á conocer para preparar las planchas metálicas (2).

(1) Al tratar de los ladrillos huecos, se describirá una máquina de émbolo.

(2) Al explicar la fabricación de tubos de avenamiento, se describirá una máquina laminadora de dos cilindros.

Estos aparatos, ya sean de uno ú otro sistema de rodillos, y ya se compongan de uno ó varios de éstos, pueden recibir la arcilla por medio de tolvas ó cajas superpuestas y comprimirla directamente en los moldes, ó bien ejercer la presión en cajas piramidales de las que sale la masa, á través de orificios ó hileras, formando un filete continuo.

Las máquinas laminadoras no están exentas de defectos. Las que echan directamente la pasta en los moldes parece que no la comprimen bastante, y que dan ladrillos poco compactos, cuyo moldeo se tiene que perfeccionar con la prensadura. Los rodillos arrastran en su superficie una cantidad considerable de tierra, que queda adherida y que obliga á establecer raederas mecánicas, á suspender la operación para limpiar los rodillos, ó á forrarlos de fieltro, franela ó gutapercha, medios todos que ocasionan gastos de alguna entidad; este inconveniente se remedia también humedeciendo ó enarenando continuamente los rodillos, pero así se complican las máquinas y las maniobras. Los ladrillos moldeados con esta clase de aparatos no presentan una superficie superior muy lisa y unida, lo que ocasiona que en las obras que exijen mucho esmero, sea preciso desechar bastantes; además, la interposición de granos de arena ó piedrecillas, cuando la arcilla no está bien limpia y la presión es considerable, hace que los moldes y los mismos rodillos experimenten averías que obligan á renovarlos con frecuencia. Finalmente, se censuran las máquinas que comprimen la masa en cajas piramidales, porque sus rodillos no tienen casi nunca la potencia mecánica suficiente para hacer que el filete que sale por la hilera tenga una sección uniforme; respecto á este punto, debe advertirse que la forma y disposición de los orificios de salida de la masa, ejercen mucha influencia en la calidad de los productos y en la perfiladura de las aristas. Pronto se describirán los medios empleados por Clayton y que han recibido la sanción de la experiencia.

Máquinas de helicoide.—Estas máquinas pueden ser de movimiento intermitente, pero casi siempre lo tienen continuo; es decir, que la arcilla sale del orificio de las hileras formando un filete de sección constante, como en uno de los casos que se han considerado en las laminadoras. Muchas de estas máquinas amasan la arcilla al mismo tiempo que la moldean; á este efecto, la amasadera termina en la

parte inferior en un helicoide que se mueve en una caja ó cámara, en cuyo fondo ó paredes hay abiertos orificios para que salga la pasta en forma de un prisma rectangular continuo, que se corta á la salida por diversos medios mecánicos.

En otros aparatos la arcilla, después de amasada en un tonel, se somete á la acción de un helicoide de altura conveniente, que funciona como una rosca de Arquímedes, en una envolvente cilíndrica, y obliga á salir á la pasta á través de las hileras. Á veces hay dos hélices montadas en el mismo árbol; la superior hace pasar la tierra por una rejilla metálica ó zaranda de cualquier especie, para separarla por completo de las piedras, raices y otros cuerpos extraños, y la inferior es la que determina la salida de la pasta por las hileras.

Los helicoides y sus cilindros pueden ser verticales ú horizontales.

Se atribuye á estas máquinas el defecto de necesitar mucha fuerza para hacer deslizar la arcilla á lo largo del helicoide, y sobre todo, para empujar la masa y forzarla á salir por las hileras, lo que suele hacer indispensable el trabajar con materias muy blandas, que dan productos difíciles de manejar, que se secan con lentitud y necesitan mucho combustible para cocerse. Se ha observado también que, á causa de los rozamientos en la superficie helicoidal y de las resistencias que se oponen al paso de la masa por las telas metálicas, la arcilla sube á lo largo de las paredes del cilindro ó de la envolvente; que es preciso emplear tierras muy limpias, porque los cuerpos extraños que pueden detenerse en los bordes de la hilera determinan surcos é imperfecciones en el prisma de pasta, y, por último, que para obtener productos de buena calidad, es indispensable engrasar con frecuencia las aristas de las hileras. La máquina de Clayton, que ya se ha citado, pertenece á este grupo, y en seguida se verá que por las ingeniosas disposiciones adoptadas por su inventor, se salvan muchos de los inconvenientes enumerados.

Máquinas de molde cortante.—Las máquinas de esta clase se subdividen en dos grupos: de *molde móvil* y de *molde fijo*. En las primeras, el molde desciende sobre la arcilla previamente preparada y á la que se ha hecho adquirir cierta densidad, por medio de rodillos, émbolos ú otro sistema cualquiera. La arcilla está colocada en plataformas giratorias ó animadas de un movimiento alternativo, en las cuales, al final de su descenso, los moldes verifican el corte.

En el otro grupo, las partes móviles son cajones llenos de arcilla, que avanzan ó descienden sobre moldes de diversas formas para hacer penetrar en ellos la masa de que están cargados, y que se separan de los moldes cuando han dejado la masa necesaria para hacer un número de ladrillos igual al de aquellos.

El fondo del molde es casi siempre móvil, pudiendo separarse después de terminada la presión, por medio de resortes ó planos inclinados, á fin de poder sacar con facilidad los ladrillos. Á veces el molde no tiene fondo y está sencillamente colocado encima de una placa; en este caso, al subir la caja arrastra consigo el molde á cierta altura, hace salir el ladrillo y en seguida vuelve á colocar el molde en su posición primitiva.

Por lo general, el molde tiene los bordes cortantes para facilitar la operación. En algunos aparatos el molde desciende primero, y luego el fondo que tiene una porción de agujeros, con cuya disposición se consigue comprimir la masa, después de cortada, y hacer que el exceso salga por los orificios: cuando se adopte este procedimiento, es necesario alisar la superficie superior del ladrillo, lo que se consigue haciendo pasar por ella una placa pulimentada.

Algunas máquinas, para hacer más fácil la operación de sacar el ladrillo del molde, están dispuestas de modo que éste, antes de actuar sobre la arcilla, se introduce sucesivamente en agua y en arena.

Con estas máquinas se pueden emplear substancias coherentes y obtener ladrillos duros y de buena calidad. Á pesar de esta ventaja, de la sencillez del mecanismo y de ser racional el principio en que están fundadas, las máquinas de molde cortante no se han generalizado, no pudiéndose dar otra explicación de este hecho, que la de que no se obtienen con ellas productos tan abundantes como con las de los otros sistemas. Se concibe, sin embargo, que pudiera aumentarse su trabajo, y que su movimiento alternativo permite aplicar con ventaja la fuerza del vapor.

Máquinas compuestas.—Las máquinas compuestas resultan de la combinación de dos ó más de los sistemas anteriores.

Máquina de Clayton.—Entre las máquinas de moldear, la que parece haber dado mejor resultado y la que casi exclusivamente se ha empleado en España, es la Clayton, que pertenece al tercer grupo.

Consta (fig. 74) de una amasadera cilíndrica, que tiene en la par-

te inferior de las paredes dos orificios colocados simétricamente con relación al eje, y cuyas dimensiones son las del rectángulo mayor de un ladrillo. La masa, después de salir por ellos, se recibe en una plataforma formada de rodillos giratorios, que dejan entre sí pequeños intervalos, que se rellenan con arena fina ó cenizas de hulla cernidas. El eje vertical, *A*, además de comunicar el movimiento al eje, *B*, de la amasadera, lleva una polea, *D*, á la que se arrollan dos correas de transmisión, que mueven otras poleas montadas en los mismos ejes de los pares de rodillos, *E*, colocados junto á las aberturas del cilindro para ayudar con su movimiento lento al del prisma de masa, *F*, é impedir que se deformen sus aristas. Con este mismo objeto se colocan sobre las hileras dos cajas con agua, *H*, de las que salen unos tubos, *G*, que se bifurcan, terminando todos ellos en una llave que se encuentra encima de cada uno de los rodillos, *E*; así se logra que éstos estén siempre húmedos y hacer más suave su contacto con la masa. Las plataformas, *C*, llevan además unos bastidores giratorios, *I*, con alambres para cortar la masa del grueso conveniente. En seguida se llevan los ladrillos al secadero en carretillas á propósito. Con estas máquinas se necesita poca agua para hacer la amasadura, y no es preciso, por tanto, que la pasta esté demasiado blanda; evitan también la raspadura, que es muy frecuente, cuando se han de hacer paramentos esmerados. Se fabrican con ellas de 4 á 5.000 ladrillos por hora.

PRENSADURA MECÁNICA.

Objeto de la prensadura.—Á veces se prensan los ladrillos después de moldearlos, en cajas de fondo móvil. Esta operación da á la masa mayor densidad y resistencia; hace que sean menores las mermas, y que no haya que dar grandes creces á las gradillas, así como que no se agrieten tan fácilmente los ladrillos y adquieran una dureza suficiente para poderlos colocar desde luego en rejales, ocupando menor espacio. Algunos opinan que esta dureza no es más que superficial y que perjudica á la buena calidad del ladrillo, alterando la acción química que debe haber entre la arcilla y el agua; pero esta apreciación no tiene fundamento alguno, y en definitiva, la prensadura no ofrece más inconveniente que el sobreprecio que produce en el coste del material.

Prensa de Clayton.—Una de las prensas más sencillas es la ideada por el mismo Clayton. Consiste (fig. 75) en una armazón de hierro fundido que sostiene una caja, *A*, con sus cuatro caras verticales fijas, y en la que se ajusta exactamente el ladrillo, *L*.

El fondo de la caja es móvil y puede llegar hasta la superficie superior para colocar en él el ladrillo; la tapa, *B*, de la caja, también móvil, está sostenida por un bastidor, *C*.

Levantando la palanca, *P*, que se apoya en el rodillo, *D*, se baja dicho fondo con el ladrillo y al mismo tiempo desciende la tapa, *B*, por medio del bastidor *C*, conducido por las guías *E*, oprimiendo al ladrillo contra la caja. Bajando la palanca se levanta la tapa y sale el ladrillo, que se puede quitar para colocar otro. Un contrapeso, *F*, equilibra todas las piezas y facilita el movimiento de la palanca. El fondo ó la tapa suelen tener relieves, que dejan huecos en los ladrillos (generalmente la marca de fábrica), con objeto de aumentar la adherencia con los morteros.

DIVERSAS CLASES DE LADRILLOS.

Clasificación.—Los ladrillos propiamente dichos, esto es, los ladrillos cocidos, pueden subdividirse, según su naturaleza, en *ordinarios*, *refractarios* y *flotantes*; y, según su forma, en *rectangulares*, *aplantillados* y *huecos*. Todo lo que hasta ahora se ha dicho, se refiere á los ladrillos ordinarios rectangulares; resta hablar de los aplantillados, huecos. refractarios y flotantes; debiendo advertir que los denominados *rasillas*, no difieren de los comunes sino en que son más finos y pequeños, y en que se emplean á menudo para solados y bovedillas.

Ladrillos aplantillados.—La fabricación de los ladrillos aplantillados es exactamente igual á la de los ordinarios, con la única diferencia de que el moldeo se hace en gradillas á propósito. Ya tienen los ladrillos la forma de cuña (fig. 76); ya la de dovelas (figura 77), para emplearse en la construcción de arcos ó de bóvedas; ya la reciben muy variada, según que hayan de servir para ejecutar muros curvos, chimeneas, etc., etc.

Ladrillos huecos.—Los ladrillos huecos presentan grandes

ventajas en las construcciones, pues además de ser muy ligeros, se oponen á la propagación de la humedad del suelo, del frío, del calor y del sonido, siendo muy adecuados para emplearse en muros y tabiques de casas. La figura 78 representa cuatro ladrillos unidos, cuyas dimensiones son próximamente las de los ordinarios de Borgoña, pero que están perforados por dos huecos de sección rectangular; en sus dos caras mayores llevan dos muescas, que al poner los ladrillos en obra se llenan de mortero, formando así dos especies de espigas ó clavos que se oponen al deslizamiento: son á propósito para la ejecución de bóvedas muy rebajadas como las de cimientos, etc. La figura 79 ofrece tres órdenes de ladrillos superpuestos y apropiados para fabricar tabiques, muros de carga, etc.: son de sección cuadrada y están horadados por cuatro agujeros de igual forma. La figura 80 representa un ladrillo horadado por seis huecos rectangulares; su anchura es doble del grueso y su longitud doble de la anchura: puede utilizarse para construir tabiques. En los ejemplos anteriores, los huecos están dispuestos en sentido de la longitud del ladrillo; casi siempre se adopta este sistema, pero algunas veces se fabrican ladrillos horadados en dirección del ancho, como se ve en las figuras 81 y 82, ó en la del espesor, como en las 83 y 84.

Por lo general, la sección de los huecos es rectangular ó cuadrada, pero también se hace circular, aovada, etc.

Los ladrillos huecos son muy resistentes: la experiencia demuestra que, para una misma cantidad de materia, las formas tubulares son más sólidas que las macizas; además, hay que considerar que la cocción se hace con gran igualdad, puesto que el espesor de las paredes es pequeño y el aire penetra con facilidad por toda la masa. Se ha reconocido que, á igualdad de volumen, son preferibles muchos huecos de sección pequeña, que menor número con sección mayor, tanto porque se cuecen mejor los ladrillos en el primer caso, como porque se introduce menos mortero en las cavidades.

La fabricación de los ladrillos huecos tiene que hacerse con mucho más cuidado que la de los ordinarios. Después de elegida con esmero la tierra y de determinar las substancias desengrasadoras, se hace la amasadura en aparatos semejantes al de Clayton.

Para moldearlos se usan máquinas de émbolos sencillos ó dobles,

y de sección rectangular, que se mueven en cajas horizontales de hierro fundido, terminadas por la parte anterior en hileras ó plantillas, cuyos huecos tengan la misma sección que los macizos de los ladrillos: ordinariamente, delante de cada hilera va una tela metálica, que sirve de cedazo para retener las piedrecillas y materias extrañas que pudieran estar aún mezcladas con la arcilla. Se coloca en las cajas la cantidad suficiente de masa, los émbolos la comprimen y la obligan á salir en forma de filete continuo, con los huecos correspondientes, y se corta de modo que resulten los ladrillos con el espesor que se desee. La figura 85 representa una máquina de dos émbolos, cuyas varillas son cremalleras, que engranan con un piñón; claro es que mientras avanza uno de los émbolos retrocede el otro; los filetes continuos que salen de las hileras se reciben en plataformas formadas de rodillos, como en la máquina de Clayton para moldear ladrillos ordinarios. La figura 86 indica en corte, con suficiente claridad, la disposición de uno de los émbolos con su caja é hilera. Una máquina de esta especie produce de 6 á 7.000 ladrillos diarios, cuando se mueve á vapor; á brazo no da más de 4 á 5.000.

De los experimentos hechos por Hervé Mangon, resulta que los ladrillos ofrecen mucha más resistencia cuando los esfuerzos á que están sometidos son paralelos á la dirección de los huecos que cuando son normales: parece como si la pasta, al pasar por la hilera, adquiriese una estructura fibrosa, que la asimilase á la madera en su modo de resistir á las presiones.

Los ladrillos huecos son más baratos que los macizos de igual calidad, fabricados en el mismo sitio y en idénticas circunstancias. La economía, que, como término medio, se aprecia en un 25 ó 30 por 100, proviene: 1.°, de que para un volumen determinado de material, los ladrillos huecos no exigen más que la mitad de pasta que los macizos; 2.°, de que la desecación se verifica también en la mitad de tiempo; 3.°, de que se disminuye la mano de obra para el moldeo; 4.°, de que la cochura se efectúa en menos tiempo y con una reducción notable en los gastos de combustible; y 5.°, de que la diminución de un 50 por 100 en el volumen, rebaja en la misma relación el peso del metro cúbico, y los transportes salen á precios mucho más reducidos que los de ladrillos ordinarios.

Si los ladrillos huecos no reemplazan en la mayoría de los casos á

los macizos, se debe á que aquellos, á pesar de ser bastante resistentes, no lo son tanto como éstos. Sin embargo, y á pesar de ser relativamente muy modernos, pues su inventor Borie los dió á conocer en la Exposición universal de París de 1855, se han generalizado mucho, fabricándose ya en toda Europa, en América, en la India y en Australia. En España abundan las fábricas de ladrillo hueco; una de las más acreditadas de Madrid es la establecida por Santigós en la continuación del barrio del Sur, con el título de *La Cerámica Madrileña*. Prescindiendo de los variados productos de alfarería que en ella se construyen, conviene consignar que se hacen rasillas huecas, y que los tres tipos corrientes de ladrillos tienen 2, 3 y 9 huecos de sección cuadrada.

Ladrillos refractarios.—Los ladrillos refractarios, que se emplean en la fabricación de retortas y crisoles, y en los paramentos interiores de los hornos, se hacen con arcilla refractaria, que, como es sabido, se prepara desengrasando una arcilla pura con cemento de alfarero, ó, por lo menos, con arena silícea muy fina, si no se necesita que los productos sean de calidad superior.

Ladrillos flotantes.—Son ladrillos bastante ligeros para poder flotar en el agua. Se moldean, bien con tobas silíceas, mezcladas con una pequeña proporción de arcilla, ó bien con una tierra porosa y poco densa, llamada *magnesita* ó *espuma de mar*, que es un hidrosilicato de magnesio. Como hecho curioso conviene saber que en Bellingen, cerca de Berlín, se han fabricado ladrillos ligeros, mezclando la pasta común con pedacitos de patata que, al quemarse en la cochura, dejan en la masa una porción de cavidades pequeñas.

ESTUDIO DE OTRAS PASTAS CERÁMICAS
USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN.

BALDOSAS.

Condiciones y clasificación.—Las *baldosas* no son en realidad más que ladrillos delgados de forma cuadrada ó poligonal, que se emplean para pavimentos; su fabricación debe ser más esmerada que la de los ladrillos, siendo muy esencial prensarlas para que resistan bien al roce y no dejen paso á la humedad.

Las baldosas cuadradas de un pie de lado ($0^m,278$), se llaman *de solar*; las más pequeñas, que suelen tener 8 pulgadas ($0^m,186$) de lado, *baldosines*; las de mayor tamaño que el ordinario, que se utilizan para formar repisas y cornisas que se han de hacer de yeso, *sepultureras*, y las triangulares, *chuletas*. Las baldosas ordinarias que se usan en Madrid, se llaman *de la ribera*, por proceder de la del Jarama; están fabricadas con arcillas mezcladas con detritos vegetales que las hacen porosas. Los baldosines comunes se traen de muchas localidades, siendo Ariza una de las que en mayor escala surten á la corte.

Fabricación.—El moldeo de estos materiales se hace como el de los ladrillos; las gradillas son de madera y algo más grandes que las baldosas. Cuando se sacan del molde se dejan primero de plano y después de canto, hasta que adquieren cierta consistencia; luego se coloca cada una de plano, encima de una mesa bien lisa, y se comprime, batiéndola con una pala de madera bastante gruesa (fig. 87). Se aplica en seguida un patrón que tenga la misma forma que ha de afectar la baldosa y que está formado por una tabla con aristas vivas, rodeada de una chapa de hierro pulimentada: este patrón lleva además cuatro puntas (fig. 88), para fijarlo bien en la baldosa, y sirve de guía para quitar con un cuchillo la pasta que exceda del patrón. Se obtienen así baldosas de aristas vivas, como se requiere en el comercio. Se exige también que produzcan un sonido claro cuando se golpean con un cuerpo duro; que sean inatacables por las heladas, y suficientemente duras y tenaces para resistir al roce á que han de estar sometidas. Á veces se pulimentan las baldosas finas y los baldosines, frotándolos entre sí, y empleando al efecto aparatos análogos al que se describió al estudiar los diferentes medios de pulimentar las piedras; otras, se les da un barniz compuesto de 20 partes de litargirio molido y 3 de sobreóxido mangánico ($Mn\ O^2$), desleído en una papilla arcillosa, que se aplica con una brocha. Es menester cuidar de no barnizar las caras que hayan de estar en contacto con el mortero sobre que se sientan las baldosas, porque disminuiría la adherencia. Al colocarlas en el horno se ha de verificar de suerte que no se toquen, pues se estropearían y se pegarían unas con otras.

Mosaicos.—Los *mosaicos* que tanto se usan para pavimentos, no son más que baldosines pequeños de formas y colores muy variados, que se moldean, aglutinando con poca agua arcillas muy finas previamente trituradas, para cuyo objeto tiene excelente aplicación la terracota, que está hoy en boga para vaciar objetos artísticos. Tanto el moldeo, como la prensadura y la cocción, se verifican con el mayor esmero, pero en la esencia no difieren los procedimientos de los que se han explicado para las cerámicas ordinarias. Conviene citar, entre los mosaicos más acreditados, los procedentes de la fábrica de Nolla, establecida en la provincia de Valencia; también gozan de bastante aceptación los de Cataluña.

Además de estos mosaicos, cuyas piezas tienen formas geométricas, se hacen otros compuestos de fragmentos irregulares de piedras artificiales ó naturales, unidos con mortero, que imitan á los usados por los romanos, y tienen el aspecto de brechas. Conviene asimismo recordar que se hacen baldosas de diferentes formas con el yeso alúmbrico ó *mármol artificial*.

Los diversos colores que se dan á las piezas de los mosaicos y á los baldosines, provienen de óxidos metálicos que se incorporan á la masa, en la forma que muy en breve se dará á conocer al tratar en general del vidriado de las pastas cerámicas.

AZULEJOS.

La fabricación de los *azulejos* se verifica del mismo modo que la de las baldosas, siendo algo más esmerada, entrando á veces en su composición el caolín, y cubriéndose las caras, que han de quedar aparentes, con un *esmalte* formado por un silicato fusible á la temperatura de los hornos en que se ha de cocer la pasta. Para esmaltar los azulejos, se da el silicato desleído en agua con una brocha, agregando los óxidos metálicos á propósito para que resulten los colores que se desee. Para obtener dibujos, se colocan sobre los azulejos patrones que están recortados ó picados, de modo que al dar un silicato que produzca cierto color, quede descubierta la parte de superficie que deba recibirlo, y cubierto todo el resto. Se consigue el mismo objeto, imprimiendo en relieve los contornos del dibujo, y pintando con pincel las superficies limitadas por los trazos.

Los azulejos ordinarios sufren una sola cochura, de modo que el barniz se aplica antes de introducirlos en el horno. Los azulejos finos se cuecen antes de recibir los silicatos; se esmaltan después de cocidos y se someten una segunda vez á la acción del fuego, con el solo fin de determinar la fusión de las sales que han de producir los colores. En cuanto á la fabricación de azulejos, puede decirse que si bien en España está bastante desarrollada, la industria ha atrasado en vez de adelantar, pues así como los azulejos que hoy se preparan pierden los colores con el tiempo, los fabricados durante la dominación de los árabes tenían matices más vivos y permanentes, como lo prueban los que se encuentran en monumentos de aquella época, que, á juzgar por la brillantez de sus tonos, deben conservarse lo mismo que cuando se pusieron en obra. Los azulejos se emplean en revestimientos de muros en el interior de edificios, en solados, y formando fajas ó cenefas en la decoración de fachadas.

Las principales fábricas de España son las establecidas en las provincias de Valencia, Alicante y Murcia.

TEJAS.

Clasificación.—Las *tejas* se fabrican próximamente como las baldosas. Las más usadas son las *planas;* las *árabes, comunes* ó *abarquilladas;* las *flamencas,* y las *romanas* ó *de reborde.* Las superficies curvas que á menudo limitan las tejas, son siempre desarrollables.

Fabricación.—Las *planas* (fig. 89) y las de *reborde* (fig. 90), no ofrecen nada de particular en su preparación.

Las *abarquilladas* (fig. 91), que generalmente tienen pie y medio de largo (0^m,418), medio de ancho (0^m,139), y media pulgada de grueso (0^m,012), se moldean en un marco alomado, sobre el cual se coloca la pasta de arcilla, que se comprime, dándole al mismo tiempo la forma exterior con un rasero ó cercha, cuya concavidad es igual á la curvatura exterior de las tejas. Para secarlas se apoyan primero en los dos bordes mayores, y cuando tienen ya alguna consistencia, se ponen de pie.

El moldeo de las tejas de formas más complicadas se verifica preparando primero una placa de grueso uniforme, que tenga la misma magnitud que la teja desarrollada, y dándole luego la curva-

tura, por medio de moldes á propósito. Como ejemplo, bastará indicar el procedimiento que se sigue en Boom (Bélgica) para moldear una teja *flamenca* (fig. 92). El moldeo de la teja desarrollada se hace en marcos formados por varillas de hierro (fig. 93), del mismo modo que si se tratara de un ladrillo. Cuando la placa tiene ya cierta consistencia, el operario la coloca encima de un banquillo de forma particular (fig. 94), á cuya curvatura hace que se adapte, alisando al mismo tiempo la superficie con la mano mojada. Se le da la forma de *S*, aplicando la porción de masa que sobresale del banquillo contra el borde de éste, como se ve en la figura 95. El gancho de la teja se forma comprimiendo la masa con el dedo pulgar en la cavidad *q*, practicada en el molde (fig. 94); la depresión que resulta en la superficie, se llena en seguida con pasta. Para sacar del molde la teja sin deformarla, el operario coloca encima una paleta cilíndrica (fig. 96), é invirtiendo el banquillo, queda la teja sobre la paleta, como muestra la misma figura. En esta disposición se transportan las tejas á una especie de estantería, cuyas tablas dejan claros para que circule el aire, y que está colocada bajo un cobertizo; las tejas se sitúan unas al lado de otras, volviendo la convexidad hacia arriba: cuando están suficientemente secas, para no deformarse al transportarlas, se ponen de canto en el suelo del tejar, dejándolas al sol hasta su completa desecación. La cochura se efectúa lo mismo que la de los ladrillos; á veces se les da un color azul mate, ahumando la hornada al fin de la operación.

Condiciones á que han de satisfacer las tejas.—Es indispensable que las tejas no sean heladizas; que estén bien moldeadas y que tengan bastante resistencia, para que, colocadas sobre el suelo volviendo hacia arriba su concavidad, no se rompan con el peso de un hombre. Se requiere, además, que den un sonido claro y casi metálico cuando se golpean con un cuerpo duro; un sonido apagado indica siempre grietas que justifican el que no se reciba el material. Se recomienda también que las tejas sean casi impermeables, pero esta condición rara vez se consigue con las tejas nuevas; las mejores dejan pasar al principio bastante agua, pero al cabo de algún tiempo, las materias que arrastra la lluvia tapan los poros. En algunos puntos se logra desde luego la impermeabilidad, barnizando las tejas con una composición igual ó semejante á la que se ha indi-

cado al tratar de las baldosas; otras veces, se dan unas manos de alquitrán. Se pueden pintar las tejas con colores variados: los árabes usaban mucho este elemento decorativo, que todavía se encuentra con frecuencia en Aragón y en algunas provincias del litoral del Mediterráneo, pero sobre todo está muy extendido en las naciones de Oriente.

BOTES Y CAÑOS.

Aplicaciones de los botes.—Los *barros* ó *botes* se emplean en las construcciones que se quiere sean ligeras y resistentes. El uso de estos materiales es antiquísimo y de todas las épocas, como lo prueba el haberlos hallado en las ruinas de varios templos indios, en las de Herculano y Pompeya, y en muchos castillos feudales de Alemania.

Se usan con ventaja en las construcciones de suelos, bóvedas, campanas de chimenea y tabiques; se asemejan bastante á los ladrillos huecos, pero los barros son aún más ligeros y se trabajan con una pasta de mejor calidad que la que se destina á los productos ordinarios de alfarería. La cualidad más importante que presentan los cilindros de barro para la construcción de tabiques y suelos, es la poca facilidad que ofrecen á la propagación del sonido.

Moldeo de los botes.—En el moldeo de estos cilindros se emplean máquinas análogas á las que sirven para la fabricación de ladrillos huecos, ó el torno ordinario de alfarero (fig. 97). El árbol, *C*, del torno, gira sobre el tejuelo *G*; el operario lo pone en movimiento, haciendo actuar el pie en la plataforma *D*; encima del disco de madera *A*, coloca el cilindro de barro que le trae un aprendiz; apoyando primero un dedo, después la mano, en el eje del cilindro, lo ahueca y ensancha por el interior, y luego, aplicando la mano de canto en el interior, lo alarga hasta que pase del índice de ballena *Q*, que está sostenido por la varilla vertical *O*, fija á una vasija, *N*, llena de agua, en la que el operario mete de cuando en cuando la mano, para que no se adhiera la pasta. En el momento que el cilindro tiene el diámetro que se desea, el moldeador lo cierra por arriba, doblando todo lo que rebasa del índice *Q*, y apoyando sobre el fondo así formado, ya un raspador, ya la palma de la mano: lo separa después de su base cortando la pasta con un alambre, obtenién-

dose de este modo un cilindro, ó más bien un tronco de cono hueco (fig. 98). Antes de quitarlo del torno, se presenta á su superficie exterior una lámina de palastro, dentada como una sierra, que produce en el bote una porción de estrías, destinadas á aumentar la adherencia con los morteros. Una vez hecho esto, se practican en las paredes y en el fondo, tres agujeros con objeto de facilitar la circulación del aire durante la cocción. Se comprende fácilmente que, poniendo los barros unos al lado de otros, y uniéndolos con mortero de yeso ó cal, se pueden formar muros y bóvedas.

Botes prismáticos.—Se emplean también botes prismáticos ó de forma de tronco de pirámide; por lo general, su espesor es mucho mayor que el de los barros ordinarios, y pueden asimilarse más bien á ladrillos huecos. Las figuras 99 y 100 representan dos modelos corrientes.

Caños de barro.—Los *caños* de barro se emplean principalmente en las construcciones para bajadas y conducción de aguas, y para subidas de humos.

Se fabrican lo mismo que los botes, de los que se diferencian en no estar cerrados por sus extremos y en el barniz ó vidriado que llevan á menudo en el interior para hacerlos impermeables.

Son de forma tronco-cónica ó cilíndrica. En el primer caso, se unen por *enchufe;* es decir, introduciendo el extremo más estrecho del uno en el más ancho del otro (fig. 101). Los tubos cilíndricos se enlazan por un *rebajo* (fig. 102) ó por un *manguito* ó *golilla* (fig. 103).

Los de $0^{m},05$ de diámetro se llaman en Madrid *naranjeros;* los de $0^{m},06$, *peloteros;* los demás se distinguen por el número de pulgadas ó de dedos de su diámetro; la sección recta es circular ú ovalada. Para los cambios de dirección se usan unas veces caños encorvados, que reciben la denominación de *codillos*; otras, sobre todo cuando en una tubería se quiere hacer una bifurcación, los llamados *Y griegas*, nombre que basta para que se comprenda la forma. Todos los caños que se venden en Madrid tienen $0^{m},42$, ó sea media vara de longitud.

En Francia se construyen caños de sección rectangular llamados *de Gourlier* (fig. 104), con los ángulos redondeados y rayados por el exterior para que agarren bien los forjados; se usan en especial para subidas de humos.

Los tubos grandes para conducciones, que tienen hasta $1^{m},50$ de

iámetro, se suelen componer de varias dovelas moldeadas á máuina y de la forma de ladrillos huecos (fig. 105).

Los mejores tubos de barro vidriado para conducir aguas, son los ngleses y los que se fabrican en Alsacia. En la Península, merecen articular mención los elaborados en Lisboa y en Sevilla.

TUBOS DE AVENAMIENTO.

Formas y dimensiones de los tubos.—Para las cañerías ubterráneas destinadas á *avenar* ó sanear marjales, se emplean casi xclusivamente tubos de barro cocido, de $0^{m},30$ á $0^{m},40$ de longiud, de un diámetro que varía entre $0^{m},03$ y $0,^{m}20$, según el voumen de agua que hayan de recoger, y de un espesor que se diferencia poco de $0^{m},01$ en los tubos pequeños, y que rara vez llega á $0^{m},02$. Los tubos son, de ordinario, de sección circular, pero también se hacen aovados, como indica la figura 106, ó con una base plana para facilitar su asiento en el terreno, según se ve en la 107. Lo más común es unir los tubos con manguitos.

En el cuadro siguiente, tomado como casi todo lo que se dirá de tubos de avenamiento, del notable artículo sobre *Agricultura*, escrito por Hervé Mangon é inserto en el *Diccionario de Artes y Manufacturas*, de Laboulaye, se estampan las dimensiones y pesos de los tubos más usados:

Número de orden.	DIÁMETRO		Longitud.	Peso del millar de tubos secos.
	Interior. — *Milímetros.*	Exterior. — *Milímetros.*	— *Centímetros.*	— *Kilogramos.*
1	27	43	32	424
2	28	45	32	552
3	31	50	32	686
4	31	50	33	720
5	35	54,5	30,8	740
6	39	59	34,5	998
7	40	61	30,8	1.002
8	54	74,5	31,5	1.098
9	57	80	30,2	1.342
10	97	128	30,2	3.200
11	132	167	30,2	4.880
12	185	231	30,2	8.800

Fabricación de tubos.—Todas las arcillas á propósito para hacer tejas lo son también para tubos de avenamiento, pero se han de limpiar y amasar aún con mayor esmero.

Casi siempre se hace el moldeo á máquina. Se usan á veces aparatos de acción intermitente, que se reducen en su esencia á un émbolo que se mueve en una caja de hierro fundido y obliga á la pasta á salir por una hilera, formando un número mayor ó menor, cuatro por lo general, de tubos continuos, que se cortan del tamaño que convenga: estas máquinas no se diferencian de la que se ha hecho conocer para moldear ladrillos huecos más que en la disposición de la hilera, y no es necesario puntualizar los detalles. Otras veces se emplean máquinas de acción continua, ya helicoidales y semejantes á la de Clayton, ya laminadoras de dos rodillos, á cuyo género pertenece la de Ainslie, que representa la figura 108. Se compone de dos cilindros de hierro colado, que giran en sentido contrario y van montados en una armadura también metálica: el movimiento lo comunica un operario, que actúa en una manivela unida á uno de los brazos del volante, cuyo eje lleva un piñón que engrana con una rueda dentada. Una tela sin fin colocada delante de los cilindros recibe la pasta arcillosa, que arrastran aquellos en su movimiento, comprimiéndola en una capacidad, y forzándola á pasar á través de una hilera. El tubo continuo de arcilla se apoya en otra tela metálica y va avanzando, cortándose del tamaño que haya de tener, por medio de alambres que se mueven por el mecanismo sencillo de palancas, que se ve en el dibujo.

Después de moldeados y cortados los tubos se cogen de 2 en 2, de 3 en 3 ó de 4 en 4, con mangos de diámetro adecuado y los lleva un muchacho al secadero, que se establece debajo de un cobertizo: allí se colocan en tablas horizontales dispuestas á modo de estantería, como se hace con las tejas. De cuando en cuando se vuelven los tubos, cambiándolos de sitio, y en el momento que la desecación está muy adelantada, se les hace rodar uno por uno sobre una piedra lisa, con objeto de regularizarlos y que se atenúen las deformaciones que aparecen á veces en la desecación, en especial cuando la pasta estaba demasiado blanda. La rodadura se efectúa por muchachos y es una operación muy importante, á juicio de los hombres prácticos en la materia.

Respecto á la cochura, baste saber que todos los hornos apropiados para cocer tejas se pueden aplicar á la fabricación de tubos. Éstos se colocan verticales, y si no son del mismo diámetro se introducen los menores dentro de los mayores. En los establecimientos de importancia media, produce buen resultado un horno de sección circular, cubierto con bóveda esférica y que lleva ocho hogares en la base para que el calor se reparta con más uniformidad; en un horno de esta especie se pueden cocer en una hornada de 30 á 35.000 tubos de 45 milímetros de diámetro. La cocción dura de treinta y tres á treinta y cuatro horas y consume 4 toneladas de hulla de mediana calidad; la descarga del horno se hace veinticuatro horas después de haber apagado el fuego.

VIDRIADO Y COLORES.

Ya se ha indicado, al explicar la fabricación de baldosas y azulejos, los barnices adecuados para dar un aspecto más agradable á estos materiales; pero ahora se tratará en general de los que se usan para cubrir toda clase de pastas cerámicas con una película que se llama *vidriado* ó *esmalte*, por la apariencia que toman los objetos que reciben dichos enlucidos.

El efecto principal del vidriado es hacer impermeables las pastas cerámicas; se emplea, además, en diversas circunstancias, según se ha dicho antes, como elemento decorativo. Del primer caso presentan ejemplos muy vulgares los pucheros, cazuelas, tubos, etc. y, en general, todos los objetos de barro que hayan de contener en su interior algún líquido; del segundo, los azulejos, los mosaicos y la mayor parte de las cerámicas finas. Los barnices que se aplican no son más que silicatos fusibles á una temperatura inferior á la de la cochura completa de la pasta.

El método seguido para vidriar los materiales de arcilla cocida que se utilizan en la construcción, consiste en pulverizar las substancias que han de formar el barniz, desleirlas en agua y extender luego con una brocha, sobre la superficie de los objetos, la papilla que resulte. Las piezas preparadas así se dejan secar y se meten en el hor-

no, cuidando de que no se toquen, para evitar que se adhieran unas á otras.

Ya se ha visto que el barniz se puede dar antes ó después de cocida la pasta: en este último caso, hay que someter nuevamente las piezas á la acción del fuego, pero tan sólo á la temperatura necesaria para la fusión del barniz; resulta, por tanto, un aumento notable en el coste, pero, en cambio, el esmalte es más permanente y limpio, por lo que se aplica el procedimiento de la doble cochura siempre que se trate de pastas muy finas.

La reacción que se verifica en estas operaciones, se reduce á que la sílice, por ser el ácido más fijo á temperaturas elevadas, desaloja á todos los demás, combinándose con los óxidos alcalinos ó metálicos, que entran en la composición del barniz, y formando silicatos fusibles que se vitrifican al enfriarse.

El esmalte blanco de la loza y de los azulejos se prepara mezclando rocas feldespáticas ó cuarzosas con óxidos de plomo (litargirio ó minio) y ácido metastánico; el vidriado del barro ordinario se obtiene agregando á una papilla arcillosa cierta cantidad de litargirio y sobreóxido mangánico, como se ha dicho al hablar de las baldosas y de las tejas, ó bien el sulfuro de plomo, llamado vulgarmente *alcohol de alfarero*.

Puede formarse un barniz muy ordinario, como el que presentan los pucheros y otros objetos análogos, echando en el horno unos puñados de sal común, que da lugar á la formación de silicatos múltiples de sodio y de los metales contenidos en la arcilla, desprendiéndose el cloro, después de haberse combinado con el hidrógeno proveniente del agua que se descompone para oxidar el sodio de la sal. La diversidad de las substancias contenidas en la arcilla explica satisfactoriamente los diferentes colores que se observan en el vidriado de los objetos de barro, cuando, como en este caso y en el segundo de los antes reseñados, entran en la composición de los silicatos fusibles los mismos elementos de la pasta moldeada.

Saldría fuera del programa de esta obra descender á explicaciones sobre el esmalte y pintura de las cerámicas finas. Sólo se indicará que los colores se obtienen, por lo general, añadiendo óxidos metálicos á los ingredientes que constituyen los barnices; así, por ejemplo, el color blanco resulta de los óxidos de plomo y alcalinos; el

amarillo, del férrico y de los de cromo; el verde de botella, del ferroso; otros verdes de distinta intensidad, del cúprico; el azul, del de cobalto; el violado, del de manganeso, etc. Se consigue un color gris ó azul mate, ahumando el horno con leña verde y dejándolo tapado algunos días, como se indicó al describir la fabricación de tejas flamencas.

Á veces conviene, sobre todo cuando se trata de ladrillos destinados á usos especiales, descolorar la arcilla, que á consecuencia de los óxidos de hierro que contiene, comunica á la masa tonos amarillos ó rojos más ó menos pronunciados. Se logra fácilmente, según se dijo al hablar de la preparación mecánica de las tierras para ladrillos, añadiendo á la pasta un poco de carbón en polvo, que, durante la cochura, reduce aquellos óxidos.

NOCIONES

SOBRE LA FABRICACIÓN DEL VIDRIO.

Antes de dar por terminado el estudio de los materiales de origen pétreo, conviene exponer algunas nociones sobre la fabricación del *vidrio*, que aunque no sea un material de gran importancia para el Ingeniero, se tiene que usar con alguna frecuencia en la ejecución de las obras públicas.

Vidrio ordinario.—PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN.—Se da en general el nombre de *vidrios* á ciertas substancias duras, dotadas de alguna transparencia y que presenten una fractura lisa ó concoidea. En esta definición quedan comprendidas muchas materias fusibles, que no cristalizan fácilmente por el enfriamiento, como los ácidos fosfórico y bórico; pero en el lenguaje vulgar se denominan *vidrios* los silicatos múltiples y transparentes que se pueden trabajar en caliente por el soplo y que no los altera el agua. Más especialmente debe darse aquel nombre á los silicatos dobles de calcio y un álcali: sin embargo, estos elementos pueden reemplazarse con otros; así sustituyendo el álcali con el óxido ferroso se obtiene el *vidrio de botellas;* cuando en lugar del óxido de calcio se usa el de plomo y el álcali es la potasa, el vidrio que resulta es de mucha mejor calidad y se llama *cristal.*

La fabricación del vidrio se reduce en esencia á fundir los silicatos y dejarlos enfriar. No se entrará en detalles, pero sí se explicará la preparación de objetos por medio del soplo, que presenta alguna novedad: en cuanto á la fundición ó moldeo del vidrio, se comprende desde luego que consiste en echar la materia derretida en moldes de forma adecuada y dejarla enfriar con lentitud.

Se supondrá, para precisar las ideas, que se trate de fabricar un vidrio plano ordinario. Las substancias y proporciones de éstas que se emplean, como término medio, son las siguientes:

Cuarzo pulverizado	110
Carbonato potásico ó sódico	64
Cal cáustica	24
Diversas substancias	2
	200

Las *substancias diversas* que figuran en la composición anterior, suelen ser el *ácido arsenioso* y el *sobreóxido mangánico.* La primera tiene por objeto purificar el cuarzo, haciendo que desaparezcan, en estado de arseniuros ó arseniatos, la mayor parte de los cuerpos que le acompañan, á excepción del hierro. El sobreóxido mangánico sirve únicamente para hacer perder al vidrio un tinte verdoso que disminuye mucho su valor comercial, y que se debe á una pequeña cantidad de óxido ferroso que siempre contiene la masa. Por la acción de aquel reactivo, el anhidrido ferroso (FeO) se transforma en anhidrido férrico (Fe^2O^3), reduciéndose el sobreóxido mangánico á óxido manganoso, resultados que se condensan en la fórmula siguiente:

$$2\ FeO + MnO^2 = Fe^2O^3 + MnO.$$

De este modo, el vidrio sale casi incoloro, pues el tinte amarillento que da el óxido férrico y el violado que corresponde al manganoso, apenas son perceptibles, al paso que una pequeña cantidad de óxido ferroso da una coloración verde intensa. Lo que precede justifica el nombre de *jabón de vidriero*, que suele recibir el sobreóxido mangánico.

El álcali que entra en la composición del vidrio, es el más barato en la localidad; así en Francia y en España se emplea la sosa por el bajo precio á que se vende el carbonato, al paso que en Alemania se da la preferencia á la potasa. Los vidrios fabricados con este último álcali, son de mejor calidad, á igualdad de las demás condiciones, pero la mano de obra resulta siempre más cara, porque el si-

licato correspondiente no se trabaja con tanta facilidad como el sódico.

Fusión.—Para preparar el vidrio se empieza por pulverizar y mezclar perfectamente las substancias antes citadas, que se colocan en crisoles refractarios fabricados con arcilla pura molida, desengrasada con cemento de crisoles viejos. Estas vasijas se introducen en hornos de varios hogares en que se produce una elevada temperatura, después de haber hecho experimentar á las materias una especie de calcinación preliminar llamada *frita* ó *mazacote*, que determina un principio de combinación, al mismo tiempo que permite templar los crisoles para que resistan el calor intenso á que han de estar sometidos.

Fabricación por el soplo.—Los instrumentos que se usan son el *puntil* y la *caña metálica;* el puntil es una varilla de hierro que sirve para probar el estado de la masa, según se dirá. La caña (fig. 109), es un tubo de hierro, *ab*, de $1^m,50$ de largo y de 3 milímetros de diámetro interior, que está resguardado hacia los dos tercios de su longitud por una cubierta de madera, *cd*, que impide que el operario se queme por efecto de la conductibilidad del metal.

Se calienta el horno, se cargan los crisoles, se tapan todas las puertas, y de cuando en cuando, un operario introduce el puntil por unas aberturas dispuestas alrededor del horno; saca una pequeña cantidad de masa adherida á aquel; deja que se enfríe, y basta su aspecto para que conozca si está en disposición de trabajarse. Una vez en el grado conveniente de fusión, el aprendiz saca con la caña cierta cantidad de líquido; el operario hace dar vueltas entre los dedos al tubo metálico, con objeto de reunir el vidrio en la extremidad, é introduce ésta en moldes humedecidos y en forma de pera, practicados en un banquillo de madera que tiene cerca de sí. Como de una vez no se extrae la porción de masa fundida que se necesita, vuelve á introducir el aprendiz la caña en el horno, coge una nueva cantidad, y el operario sopla por el extremo opuesto, tomando la masa la forma que indica la figura 110; vuelve entonces el instrumento hacia arriba y la masa se extiende en sentido horizontal (fig. 111), en virtud de su propio peso; baja bruscamente la caña, y consigue así que la pasta acentúe su curvatura por la parte inferior (fig. 112). El operario imprime en seguida á la caña un movi-

miento de vaivén, soplando al mismo tiempo, de modo que, bajo la acción simultánea del soplo y del peso, la masa se alarga, y se continúa de esta manera hasta que el globo de vidrio tome la forma aproximada de un cilindro (fig. 113). Es esencial que se conserve constantemente la pieza en movimiento, para que no se deforme por el descenso de la masa: mientras se efectúan todas estas operaciones, es preciso que el vidrio esté bastante pastoso para poderse trabajar; si se endurece algo hay que reblandecerlo, lo que se consigue sometiéndolo á la acción del calor, en una de las aberturas laterales del horno. Cuando el cilindro tiene las dimensiones que se le quiere dar, el aprendiz lo introduce en el horno, de modo que su extremidad se ponga á una alta temperatura, tapa al mismo tiempo con el dedo el agujero de la caña y aguarda á que la dilatación del aire perfore el vidrio por *o*. Otro medio de lograrlo consiste en pegar con el puntil en el remate del cilindro una pequeña cantidad de vidrio muy caliente; el operario mete aquel extremo en el horno, y sopla con fuerza en la caña ó bien se limita á tapar, como antes, la abertura con el dedo; la presión del aire interior basta para romper el cilindro, por el sitio, *o*, que se reblandeció con la gota de vidrio caliente (fig. 114). Perforado ya el cilindro, se retira del horno, y el aprendiz corta con unas tijeras la sección extrema, lo que no ofrece dificultad por la blandura que ha adquirido la pasta; así se abre por completo el cilindro, que queda en la disposición que indica la figura 115. El operario continúa imprimiendo á la caña un movimiento de vaivén y aun le da vuelta completa para que se enfríe la masa con rapidez, impidiendo que se alabee.

Para desprender el cilindro de la caña, el aprendiz la coloca en un caballete; el operario coge una gota de agua con una varilla de hierro encorvada; pone la gota en la unión, *a*, del vidrio con la caña, y dando en la mitad de ésta un golpe seco con la misma varilla, se desprende la pieza soplada, que queda abierta por un lado y cerrada por el otro. Para abrirla por este último, el operario adapta á lo largo de la generatriz superior del cilindro, colocado horizontal, una regla en que está marcada la longitud que ha de tener la lámina de vidrio; y después, sin mover la regla, toma del crisol con el puntil una gota de vidrio, que hace hebra al alargarse, y que aplica á la sección recta *bc* del cilindro (fig. 116), en el sitio en que haya

de verificarse la rotura, que se produce en seguida con mucha limpieza.

El cilindro, ya con las dimensiones requeridas, tiene que abrirse por una de sus generatrices, para lo cual se dispone horizontalmente en una mesa; se apoya una regla en la generatriz superior; se hace correr á lo largo de ella una gota de agua, y pasando en seguida un hierro enrojecido, se determina la fractura.

Extensión.—Únicamente falta desarrollar el cilindro, operación que se lleva á cabo en hornos particulares, cuya forma puede verse en la figura 117. Se hacen pasar los manguitos de vidrio por unas guías á un departamento que se halla á una temperatura elevada, y cuando uno de ellos está próximo á desplegarse por efecto del calor, se coloca encima de una placa de hierro colado ó de vidrio enyesado, en la cual y del modo que representa la figura 118, se extiende, alisándolo después con un mazo de hierro ó de chopo (fig. 119), que tiene una de sus caras muy pulimentada, y que va montado en un mango largo. Por último, con una regla delgada de hierro, terminada en una horquilla (fig. 120), se pasa la lámina á otro compartimiento del horno (fig. 117), en que la temperatura es menor, á fin de que el vidrio se enfríe algo, antes de sacarlo. Las diversas láminas se disponen en esta capacidad de suerte que no se toquen, pues, de lo contrario, se correría el riesgo de que se adhirieran y deformaran.

Vidrios del comercio.—Los vidrios ordinarios *sencillos* se distinguen en el comercio por números, que son la suma del largo y del ancho, expresados en pulgadas francesas; así, por ejemplo, las láminas que tienen 20 pulgadas de longitud y 15 de anchura, corresponden al núm. 35. Los vidrios comunes más pequeños son los del núm. 16 (9 pulgadas × 7), y los mayores los del 58 (32 × 26).

Se usan también cristales ordinarios de mayores dimensiones y más grueso que los sencillos, que se llaman *dobles* (1): su área varía, por lo general, entre 26 pulgadas × 20 y 78 × 20. Tanto los sencillos como los dobles se expenden con creces de una pulgada en ambos sentidos, de suerte que las dimensiones que aparecen en los

(1) El espesor de los vidrios sencillos suele ser $2^{mm},25$, y el de los dobles $4^{mm},50$.

catálogos, deben considerarse como las que quedan libres cuando están sujetos los vidrios en los marcos y junquillos.

Los vidrios *raspados*, que se obtienen frotando los ordinarios, después de haberlos cubierto de aceite, con otro vidrio, con una lámina de hoja de lata ó con un asperón, hasta que pierdan el brillo y la transparencia, suelen tener de 20 á 60 pulgadas francesas, siendo estos números las sumas de los largos y anchos respectivos. Iguales tamaños tienen las *muselinas*, que son vidrios raspados sólo en parte, de manera que se formen dibujos sobre fondo transparente ó mate, según se desee.

Los vidrios *de colores* se preparan añadiendo á la pasta substancias colorantes, que casi siempre son óxidos metálicos. Los colores que más se usan son el amarillo, el azul, el rojo, el verde y el violado. Las dimensiones de los vidrios coloridos varían generalmente de 20 á 31 pulgadas para las longitudes y de 14 á 21 para los anchos.

Vidrio templado.—Cuando los objetos de vidrio fabricados por el soplo ó el moldeo, se *templan*, es decir, se elevan á cierto grado de calor y se sumergen después en un baño frío de aceite, adquieren propiedades notables. El vidrio pierde su fragilidad y aumenta su resistencia, en tan grande escala, que, por término medio, puede decirse que es 50 veces mayor que la del ordinario; el vidrio templado no se altera por los cambios bruscos de temperatura, tiene mucha más elasticidad que el común; es tan limpio y transparente como éste; admite pulimento y coloración, y puede taladrarse y cortarse con el trépano y la lima. Se han hecho ya ensayos, al parecer favorables, para aplicar el vidrio templado á la viguería, á la fabricación de tejas, á las tuberías de agua y de gas, á la construcción de cojinetes y otras piezas resistentes de maquinaria, á las cámaras de preparación del ácido sulfúrico y á otra multitud de usos, como baterías de cocina, obtención de líquidos fermentados, etc.

Terminado el estudio de los materiales de origen pétreo, que más interesa conocer al Ingeniero, se incluye á continuación un cuadro marcado con el núm. 1, en que se estampan las densidades y resistencias al aplastamiento de algunas piedras y ladrillos, no expresándose

los datos relativos á morteros y hormigones, que se han consignado con detalle en los sitios correspondientes de esta obra. Entre los materiales que figuran en el estado hay algunos extranjeros y muchos menos españoles de lo que fuera de desear, pero no ha sido posible adquirir más noticias, á pesar de la diligencia con que se han buscado. Los guarismos referentes á muchos materiales usados en las colonias ultramarinas y á algunos de España, se han tomado del *Manual del Ingeniero y Arquitecto*, del coronel D. Nicolás Valdés; otros, también de materiales del país, se deben á la amabilidad de los Ingenieros del Cuerpo, que se citan en la casilla de *observaciones*.

La resistencia al aplastamiento es la que más interesa determinar, en general, tratándose de piedras y ladrillos, pero, sin embargo, en el cuadro núm. 2, aparecen los términos medios que pueden adoptarse para medir la resistencia á la tracción, según la naturaleza de los materiales; y en el núm. 3 la dureza comparativa de algunos que conviene conocer en ciertas construcciones, como, por ejemplo, en los enlosados.

Cuadro núm. 1.

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Densidad.	Resistencia al aplastamiento, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.	
PIEDRAS VOLCÁNICAS.				
Basaltos de Suecia y Auvernia................	2,95	2.950	Experimentos varios, reunidos por Claudel.	
Lava dura del Vesuvio...	2,60	592	Idem id. id. por Debauve.	
Idem blanda de Nápoles.	1,97	230		
Idem gris de Roma......	1,97	228		
Toba de Roma.........	1,22	57		
Piedra pómez..........	0,60	34		
Brecha de Angono (Filipinas)...............	1,66	46	Compuesta de fragmentos de lava.	Experimentos reunidos por el coronel Valdés.
Idem de Meycauayán (id.)	1,58	43	Idem de pómez y escorias.	
Toba de Guadalupe (id.).	1,45	26	....	

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Densidad.	Resistencia al aplastamiento, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.
PIEDRAS GRANÍTICAS, SILÍCEAS Y ARCILLOSAS.			
Pórfido...............	2,87	2.470	Experimentos varios, reunidos por Claudel.
Granito verde de los Vosgos.................	2,85	620	
Idem gris de idem.......	2,643	420	
Idem de Normandía (Francia).................	2,711	707	
Idem azul de Aberdeen (Inglaterra)...........	2,62	761	Idem id. id. por Debauve.
Idem de Cornwall (idem).	2,66	443	
Idem de Hong-Kong (China)	2,60	800	Idem id. id. por Valdés.
Idem de Guadarrama....	2,50	350	
Traquita de San Miguel (Filipinas)............	2,40	266	
Idem de Aspe (Bilbao)...	2,445	»	Experimentos del Ingeniero Jefe D. Evaristo de Churruca.
Molar de Châtillon (París)	2,423	»	Experimentos varios, reunidos por Claudel.
Piedra silícea de San Miguel (Cuba)..........	2,47	1.160	Idem id. id. por Valdés.
Idem id. de Dundee (Inglaterra).............	2,53	740	Idem id. id. por Debauve.
Idem id. de Derby (id.)..	2,32	223	
Arenisca dura de Fontainebleau...........	2,57	895	Idem id. id. por Claudel.
Idem blanda..........	2,491	4	
Idem gris de Florencia..	2,561	420	
Idem de la Isla (Cádiz)...	2,48	»	Idem id. id. por Valdés.
Idem de Santa Catalina (idem)...............	2,46	»	
Piedra arcillosa de la Osa (Habana).............	2,08	42	
Idem id. de la Cueva (id.)	1,60	37	
Idem id. de Vedao (id.) (calidad superior)......	2,11	62	
Idem id. id. (id.) (id. mediana)................	2,08	51	
Idem id. de la Playa de Chivos (id.)...........	»	14	
Idem id. de la Cachimba de San Antonio (id.)....	2,34	56	
Idem id. del Morro (id.).	2,42	66	
Vinelo (id.)............	2,20	26	

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Densidad.	Resistencia al aplastamiento, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.
PIEDRAS CALIZAS Y DE YESO.			
Mármol estatuario	2,694	340	Experimentos varios, reunidos por Claudel.
Idem negro de Flandes	2,722	790	
Idem blanco de Italia	2,72	686	Idem id. id. por Debauve.
Idem id. de Brabante	2,70	654	
Idem rojo de Devonshire (Inglaterra)	»	528	
Idem de Portland (id.)	2,43	324	
Idem de la isla de Pinos (Cuba)	2,60	128	Idem id. id. por Valdés.
Caliza negra de San Fortunato (cerca de Lyon) (muy dura y conchífera)	2,653	630	Idem id. id. por Claudel.
Idem de Châtillon (cerca de París) (dura y poco conchífera)	2,292	170	
Idem de Conflans (empleada en París)	2,077	90	
Idem blanda (id. id.) (*lambourde* y *vergelet*)	1,822	60	
Idem amarilla oolítica de Jaumont (cerca de Metz) (primera calidad)	2,201	180	
La misma anterior (segunda calidad)	2,009	120	
Caliza arcillosa azul de Metz	2,600	300	
Idem de Ponce (Puerto-Rico)	2,10	170	Idem id. id. por Valdés.
Idem arcillosa del Monte Cabras (Bilbao)	2,705	»	Experimentos del Ingeniero Jefe D. E. de Churruca.
Idem de San Telmo (Málaga)	2,64	»	Idem del id. id. D. Rafael Yagüe.
Idem de Almellones (id.)	2,69	»	Idem del id. D. Manuel López Martín.
Idem de Rueda (Zaragoza). Piedra muy blanda y á propósito para molduras	»	63	Término medio de dos experimentos hechos por el Inspector general D. José Morer.
Algez de Montmartre	1,92	71	Experimentos varios, reunidos por Debauve.

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Densidad.	Resistencia al aplastamiento, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.	
LADRILLOS.				
Adobes	»	33	Experimentos de Vicat.	
Ladrillos bien cocidos de Borgoña	2,195	150	Idem de Claudel.	
Idem id. de Sarcelles	1,997	125		
Idem de cocción ordinaria de Montereau	1,78	110		
Idem rojos ordinarios de París	1,52	90		
Idem ordinarios de Hammerschmith. (Alemania.)	»	71	Idem reunidos por Debauve.	
Ladrillo fino prensado de la fábrica de Rombado	2,075	93	El número asignado á la resistencia, es término medio de 20 experimentos.	Ensayos verificados en las obras del canal de Isabel II, por el Inspector Don José Morer.
Idem fino de Vaciamadrid	»	47	Idem id. de 6 experimentos.	
Idem del Puente de Segovia	»	60	Idem id. de 4 id.	
Idem recocho fabricado en el Depósito del Canal de Isabel II	1,723	49	Idem id. de 3 id.	
Idem pardo fabricado en el mismo depósito	»	33	Idem id. de 11 id.	

Cuadro núm. 2.

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Resistencia á la tracción, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.
Basalto de Auvernia	17	Este cuadro está tomado de la obra de Debauve, titulada *Exécution des travaux.*
Mármol de Portland	60	
Caliza compacta	32	
Idem arenácea	23	
Idem oolítica	14	
Ladrillos de buena calidad	18 á 20	

Cuadro núm. 3.

DESIGNACIÓN DE MATERIALES.	Dureza comparativa.	OBSERVACIONES.
Mármol blanco veteado........	1,00	Los números que figuran en este cuadro se refieren á experimentos de Rondelet, citados por Reynaud en su *Curso de Arquitectura*.
Granito rosado (sienita)........	10,08	
Idem verde..................	9,70	
Idem color de hoja seca........	9,30	
Idem gris de los Vosgos........	8,92	
Idem id. de Bretaña...........	8,56	
Idem id. de Normandía........	7,00	
Mármol azul turquí...........	1,28	
Caliza dura ordinaria (*liais*).....	0,88	

SEGUNDA SECCIÓN.

MATERIALES DE ORIGEN VEGETAL.

ORGANOGRAFÍA Y FISIOLOGÍA DE LOS VEGETALES.

El estudio de esta sección, y más especialmente el de las maderas, requiere el conocimiento previo de algunos principios de *organografía* y *fisiología de los vegetales*, que conviene recordar.

La primera describe los órganos que componen las plantas; la segunda las funciones que cada uno de ellos desempeña.

ORGANOGRAFÍA.

Célula.—La *célula* es el elemento orgánico primitivo del reino vegetal. Está formada de una membrana sumamente delgada, esférica ó aovada, que encierra en su interior cuerpos de varia naturaleza, unos sólidos, otros líquidos y otros gaseosos. La substancia principal que entra en la composición de esta membrana se llama *celulosa* $(C^6H^{10}O^5)$. Es blanca, diáfana, sólida é insoluble en el agua, en el alcohol, en el éter, en las grasas y en los ácidos y álcalis diluídos. Es claro, pues, que si se somete un tejido vegetal á la acción de los citados agentes, se disolverán todas las materias excepto la celulosa.

Las demás substancias que componen la célula son: la *clorofila*, ó materia verde, que se presenta en gránulos de este color; el *núcleo* ó *citoblasto*, cuerpecillo lenticular que está alojado en el centro y que se considera como el generador de las celdillas; la *fécula* que está formada por unos granos incoloros que abundan en el tallo, en la semilla y en los frutos; y además, algunos carbonatos cristalizados

y oxalato de calcio: encuéntranse, aparte de estos cuerpos sólidos, la savia, aceites y resinas, como líquidos; y entre los gaseosos, el aire, el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el anhidrido carbónico.

Tejidos.—Las celdillas nacen y se desarrollan unas al lado de otras, constituyendo los *tejidos*. Á consecuencia de la multiplicación y de las presiones recíprocas que experimentan en todas direcciones, pierden su forma primitiva y afectan otras poliédricas, irregulares y anormales á veces, que se denominan *fibras* si se prolongan y adelgazan en sus extremidades, y *vasos* si alargadas también, presentan calibre cilíndrico y están abiertas por sus dos extremos.

La célula primitiva determina el *tejido conectivo* ó *celular*, llamado también *parénquima*, el cual ofrece el aspecto de una membrana muy delgada y transparente, fácil de observar en las partes blandas de los vegetales; la fibra, el *tejido fibroso*, que suele ser de paredes gruesas y consistentes, y que forma las maderas de los vegetales leñosos, así como los nervios de muchas hojas y los haces del líber en algunas plantas, como el lino, el cáñamo y, en general, todas las *textiles;* y últimamente, el vaso origina el tejido *vascular*, que no tiene siempre la misma estructura, porque también es muy diversa la de los vasos.

Clasificación de los vegetales.—Los órganos simples que se han enumerado constituyen los *órganos compuestos*, en cuya descripción se ha de entrar ahora; pero como estos últimos varían según la planta á que pertenecen, conviene presentar, antes de pasar adelante, una clasificación de los vegetales, con objeto de no tratar más que de los órganos que tengan alguna importancia dentro del programa de esta sección.

Linneo dividió el reino de las plantas en dos grandes grupos: las *criptógamas* y las *fanerógamas*. Las primeras están formadas por tejidos celulares y no presentan aparentemente sus órganos de generación; las segundas tienen estos órganos muy desarrollados y están compuestas de toda clase de tejidos.

Revélase en la semilla de las fanerógamas un bosquejo de raíz, tallo y órganos apendiculares ó foliáceos, representados por unos cuerpecillos más ó menos consistentes, llamados *cotiledones*, en cuyo número y disposición está fundada una segunda división del reino

vegetal. Llámanse plantas *monocotiledones* las que poseen un solo cotiledón; *dicotiledones* las que tienen dos, y *acotiledones* las que carecen de ellos, y que son las mismas que Linneo denominó criptógamas. Las otras dos agrupaciones son fanerógamas, y á ellas habrá de concretarse el estudio que se haga, porque son las que producen las maderas.

Se dividirán los órganos compuestos en dos secciones: órganos destinados á la *nutrición ó conservación del individuo*, y órganos de *generación*, que tienen por objeto la reproducción de la especie.

Órganos de nutrición.—Son órganos principales de nutrición la *raíz*, el *tallo*, las *yemas* y las *hojas;* se expondrán ligeras indicaciones acerca de todos ellos, exceptuando el *tallo*, que habrá de describirse con algún más detalle.

Raíz.—La *raíz* es un órgano que, generalmente introducido en la tierra, absorbe los jugos y substancias necesarias para el crecimiento vegetal. Divídese en tres partes, que son: el *cuello* ó *nudo vital*, marcado por una estrechez que lo separa del tallo; el *cuerpo* ó *parte media*, de forma y consistencia variables, y la *cabellera* ó *parte inferior*, compuesta de raicillas terminadas por un tejido celular muy delicado y dispuesto para la absorción, á cuyas extremidades se les da el nombre de *espongiolas*. Aunque las raíces tienen siempre tendencia á la forma cónica, pueden afectar otras varias, recibiendo el nombre de *filiformes*, las que presentan la apariencia de un hilo; *fibrosas* (fig. 121), las que tienen el cuerpo casi sin desarrollo y se dividen en una multitud de fibras más ó menos delgadas, como las raíces del trigo, de la palmera y de todos los monocotiledones; *tuberosas* (fig. 122), las provistas de abultamientos más ó menos redondeados, como las de la patata y de la dalia; *napiformes* ó *fusiformes* (fig. 123), las que se asemejan á un huso. Por su duración se dividen en *anuales*, *bienales* y *perennes* ó *vivaces*, y por su consistencia, en *herbáceas*, *leñosas*, *carnosas*, *huecas*, *sólidas*, etc.

Tallo.—El *tallo* es la parte del vegetal que sostiene las hojas y los frutos, y que está separado de la raíz por el cuello. Puede ser *subterráneo* y *aéreo*, recibiendo, en este último caso, los nombres de *tallo*, *tronco*, *caña*, *junco* y *astil*, según su naturaleza. Se describirán únicamente el tronco y el astil, porque son los que producen las maderas que se emplean en las construcciones.

El *tronco*, propio de los vegetales dicotiledones, es un tallo leñoso, de forma prolongada y cónica, que á cierta altura se divide en *ramas* y *ramos*, que á su vez sustentan las hojas y las flores. La sección transversal del tronco (fig. 124) se compone de una serie de capas circulares concéntricas, que forman dos regiones distintas, llamada *sistema cortical* ó *corteza* la exterior, y *sistema leñoso* la interior. El sistema cortical se compone del exterior al interior: 1.°, de la *epidermis*, membrana en extremo delgada y transparente, de tejido celular y sembrada de poros ó *estomas*, que sirven para la respiración de la planta; esta membrana está cubierta exteriormente por otra muy tenue é incolora que se llama *epidermis cortical* ó *cutícula:* 2.°, de la *capa* ó *envuelta suberosa*, formada por celdillas rectangulares parduscas, que á veces toman gran desarrollo, como se ve en el corcho: 3.°, de la *cubierta herbácea* ó *médula externa*, que es verdosa y está compuesta de tejido celular; y 4.°, del *liber* ó *fibras corticales*, que pueden separarse sin dificultad, por medio de la maceración.

El *sistema leñoso* está formado por un conjunto de hacecillos fibro-vasculares, rayados y punteados, cuya consistencia y dimensiones aumentan con la edad. La sección transversal de este sistema se divide en dos zonas; una externa llamada *albura* ó *falsa madera*, más blanda y de color menos obscuro que la segunda, y otra interna que es la parte más dura del vegetal y constituye la *madera perfecta*, *corazón* ó *duramen*. El centro de esta zona y eje del vegetal es la *médula*, compuesta de tejido celular y separada de la madera por una especie de tubo llamado *estuche medular*, constituido por vasos paralelos; la médula desaparece con el tiempo en todos los árboles. La masa del cuerpo leñoso se halla dividida por líneas que van del centro á la periferia, y que reciben el nombre de *radios medulares*, *grandes* ó *pequeños*, según que se extiendan desde la médula hasta el liber ó que estén limitados por dos capas concéntricas.

El *astil* es un tallo leñoso, propio de los vegetales monocotiledones, que termina por un ramillete ó cabellera de hojas, como sucede en la palmera y el cocotero. Esta clase de árboles es poco abundante en nuestro suelo, excepto la palmera, muy conocida en las provincias meridionales y de levante. La estructura anatómica de los hacecillos fibro-vasculares que componen el astil, es muy seme-

jante á la de los troncos, pero no están dispuestos ni ordenados en capas concéntricas; de manera que no se advierten estuche, médula, ni radios medulares. Si se hace una sección transversal (fig. 125) en el astil de la palmera, se verá que el centro está formado por una masa de fibras leñosas, más ó menos reunidas por un tejido celular sin consistencia, y que en la periferia, las fibras se aproximan y vienen á formar un compuesto muy duro. La sección ensancha por la superficie exterior, porque las hojas crecen y se desarrollan adheridas alrededor de la corteza, la cual queda encerrada dentro de un estuche determinado por las partes inferiores de las hojas, que no acompañan á las superiores en su caída. Al cabo de algún tiempo la corteza se endurece, deja de ensancharse y concluye por hacerse cilíndrica.

Yemas.—Las *yemas* son órganos que encierran el rudimento de las ramas, flores y otros apéndices foliáceos. Se desarrollan en la extremidad de un tallo y entonces se llaman *terminales*, ó en el ángulo formado por la hoja y el tallo, recibiendo el nombre de *axilares*, ó bien aparecen accidentalmente y sin orden en cualquiera otra parte del vegetal, y se denominan *adventicias*. Las yemas se presentan, por lo general, en el verano y crecen hasta el otoño, quedando estacionarias durante el invierno para adquirir su completo desarrollo en la primavera, en cuya época caen sus cubiertas y aparecen los nuevos órganos de las plantas. Claro es que el período de evolución varía con los climas.

Hojas.—Otro órgano de gran importancia en la vegetación es la *hoja*. Las hojas son de ordinario expansiones planas y verdes, que nacen del tallo. Su organización es idéntica á la de éste, componiéndose, por tanto, de la epidermis que las cubre, y de fibras y vasos que, ramificados de diversas maneras, dibujan una red cuyas mallas ó intersticios ocupa el tejido celular. El color, aunque según la definición es verde, varía en algunas plantas, viéndose hojas amarillas, rojizas y argentinas.

La hoja (fig. 126) se compone, en general, del *peciolo* ó *cabo*, prolongación variable del tallo, en la que los haces fibro-vasculares continúan todavía unidos; y del *limbo* ó *lámina*, parte plana en la que los haces se separan dividiéndose y subdividiéndose en *nervios*, *venas* y *venillas*. El limbo presenta una *base*, un *vértice*, un *borde* ó *margen*

y dos *caras*, una *superior*, comúnmente más lisa y verde que la *inferior*, que es de color más claro y está sembrada de *estomas* destinadas á la respiración.

Las hojas pueden ser *sencillas* y *compuestas:* las primeras tienen el limbo indiviso, como las del tilo, y las segundas ofrecen soluciones de continuidad, dividiéndose en hojuelas, como las de la acacia. Se llaman *pecioladas* las que tienen peciolo, y *sentadas* las que carecen de él; y por su forma se clasifican en *lineales, lanceoladas, aovadas, elípticas,* etc.

Órganos secundarios.—Como órganos secundarios de nutrición, deben citarse las *estípulas, brácteas, zarcillos, espinas,* etc., en cuyo estudio no es necesario entrar.

Órganos de reproducción.—Son los destinados al desempeño de las funciones vegetales que tienen por objeto la conservación de la especie: se dividen en *órganos de floración* y *de fructificación.*

Órganos de floración.—Las *flores* están compuestas de un conjunto de hojas transformadas y colocadas en *círculos* ó *verticilos.* Sostiénelas generalmente una prolongación del tallo, el *pedúnculo*, aunque hay flores sin este aditamento, que se llaman *sentadas*. Los verticilos florales son cuatro, que enumerados de la periferia al centro, se denominan respectivamente: *cáliz, corola, estambres* y *pistilos.*

El *cáliz* (fig. 127) es una expansión del pedúnculo y forma la envoltura exterior de las flores. Tiene generalmente un color verde; pero también hay cálices rojos, amarillos y azules. Sus hojas reciben el nombre de *sépalos,* y según las que se agrupan para constituir el cáliz, puede ser éste *gamosépalo* ó *polisépalo.*

La *corola* (fig. 128) es la envolvente inmediata de los órganos sexuales. Tiene un tejido sumamente delicado, exhala una parte de la fragancia de las flores y puede presentar los colores más vivos y variados. Sus hojas se llaman *pétalos*, y por el número de éstos puede ser la flor *monopétala* y *polipétala.*

Los *estambres* (fig. 129), ó tercer verticilo floral, son los órganos masculinos de la flor. Compónese cada uno de tres partes principales, que son: *filamento, a, antera, b,* y *polen.* El *filamento* es la prolongación delgada y filiforme que sostiene la antera; falta algunas veces y afecta formas muy diversas. La *antera* es una cápsula membranosa, compuesta de celdillas que contienen el polen; estas celdillas se ligan por adherencia de sus paredes, ó por el intermedio de un cuerpo carnoso llamado *conectivo.* El *polen* es un polvillo muy tenue y la parte esencial en la fecundación de los vegetales: está constituído por una cantidad considerable de pequeños vasos de color casi siempre amarillo, conteniendo á su vez estos vasos una substancia líquida muy espesa, que lleva en suspensión muchos corpúsculos.

Los *pistilos* (fig. 130), cuarto verticilo de la flor, son los órganos femeninos. Cada uno se compone de tres elementos: *ovario, a, estilo, b,* y *estigma, c.* El *ovario* es la parte inferior, por lo general ensanchada, en cuyo interior empiezan á desarrollarse los vasos polínicos. El *estilo* es una prolongación, de tejido celular casi toda ella, que une al ovario con el *estigma.* Este último, remate del pistilo, está provisto de glándulas que segregan un líquido viscoso, que retiene fácilmente los vasos polínicos, que desprenden los estambres en la época de la fecundación.

Los órganos sexuales de una planta no se observan siempre en una misma flor, sino que están distribuídos de muy distintas maneras. De aquí las varias denominaciones que reciben las flores. Son *hermafroditas,* las que presentan estambres y pistilos; *unisexuales,* las que sólo tienen pistilos ó estambres; *monóicas,* si las flores masculinas y femeninas están en un mismo pie de la planta, y *dióicas,* en caso contrario. Hay además flores *neutras* que carecen de órganos sexuales.

Órganos de fructificación.—El *fruto* es el ovario fecundado y maduro. Compónese del *pericarpio* y de la *semilla.* El primero, que es la cubierta de la segunda, está formado del exterior al interior: primero, por el *epicarpio,* membrana delgada y transparente, llamada vulgarmente *piel;* segundo, por el *mesocarpio* ó *sarcocarpio,* parte intermedia, á veces jugosa y carnosa, y tercero, por el *endocarpio,* membrana que suele llegar á adquirir consistencia leñosa, constituyendo el *hueso.* Hay frutos que encierran cuerpos distintos de las membranas mencionadas, ofreciendo un notable ejemplo la naranja, cuya pulpa ó parte carnosa se desarrolla dentro del endocarpio, que es la membrana delgada que la divide en gajos y envuelve las pipas ó semillas.

La *semilla* es el huevecillo vegetal fecundado y maduro. En toda semilla se distinguen dos órganos esenciales: los *tegumentos* y la *almendra*. Los primeros son dos membranas: una, más ó menos gruesa, crustácea y acorchada llamada *testa*, y otra, que cubre el interior de la primera, y que es delgada, transparente y lisa, á la cual se ha dado el nombre de *endopleura*. Estas dos membranas están á veces tan unidas, que parecen una sola.

La *almendra* se compone del *perispermo* y del *embrión*. El *perispermo* ó *albumen* es una masa de tejido celular, más ó menos desarrollada; unas veces dura y córnea, como en el café; otras carnosa y blanda, como en el ricino, y algunas seca y harinosa, como en todas las gramíneas. El *embrión*, parte esencial de la almendra, es un nuevo individuo en estado rudimentario, que, al desarrollarse, se convierte en una planta igual á la que lo ha producido. Compónese de tres partes, que son (fig. 151): la *radícula* ó *rejo*, pequeña protuberancia cónica, *a*, que es el germen de la raíz; la *plúmula*, *b*, que tiende á salir á la superficie para formar el tallo del vegetal, y, por último, los *cotiledones*, *c*, rudimentos de las primeras hojas del embrión, insertos en sus partes laterales y que se diferencian de las verdaderas hojas en su forma, tamaño y consistencia. El embrión suministra caracteres muy importantes en su estructura para distinguir unas de otras las plantas, y por eso ha servido de base para fundar una de las grandes clasificaciones del reino vegetal.

FISIOLOGÍA.

Clasificación.—Como se ha dicho anteriormente, la *Fisiología* es la parte de la Botánica que tiene por objeto el estudio de las funciones de las plantas.

Las funciones, lo mismo que los órganos, pueden ser de *nutrición* y de *reproducción*, subdividiéndose las primeras en las de *absorción*, *circulación*, *respiración* y *transpiración*, *asimilación*, *secreción* y *excreción*; y las segundas en *florescencia*, *fecundación*, *fructificación*, *diseminación* y *germinación*.

Los límites del programa adoptado no permiten describir con detalle ninguna de estas funciones; así es que sólo se consignarán ligerísimas ideas sobre el particular, contrayéndose á los árboles dicotiledones.

Funciones de nutrición.—Los árboles se nutren de alimentos que proporcionan la tierra y la atmósfera; por medio de las espongiolas recogen de aquella el agua y las substancias minerales, como el fósforo, el azufre, los fosfatos y silicatos, las bases y sales alcalinas, las materias nitrogenadas, etc., y por las hojas absorben de la atmósfera el anhidrido carbónico, el hidrógeno sulfurado y el amoniaco.

Cuando la vegetación renace, el líquido asimilado por las raíces empieza á elevarse por las capas más recientes de la albura, constituyendo la savia, que entonces recibe el calificativo de *ascendente*. Este movimiento se produce por la capilaridad de los vasos y por los vacíos relativos que la evaporación en la superficie de las hojas determina en los conductos vasculares, que desde aquellas se extienden, por el intermedio de los peciolos, á lo largo de todo el tallo.

Cuando la savia ascendente llega á la superficie de las hojas, se transforma por la respiración; abandona gran parte de su humedad y absorbe el anhidrido carbónico del aire, cuyo carbono se apropia la planta, desprendiéndose el oxígeno. Pero este fenómeno se realiza por la influencia de la luz, pues durante la noche las funciones que se verifican son análogas á las de la respiración animal, habiendo entonces absorción de oxígeno y desprendimiento de anhidrido carbónico, si bien con mucha menos actividad que en las funciones diurnas. Compréndese así el equilibrio, aparente á lo menos, de la atmósfera en las condiciones que son necesarias para el crecimiento y la propagación de todos los individuos orgánicos, porque mientras los animales consumen oxígeno y despiden anhidrido carbónico, los vegetales se alimentan con este último y proporcionan el oxígeno, que es indispensable para la vida del reino animal.

La savia modificada empieza á descender; es más espesa que la ascendente y se le da el nombre de *cambium;* corre entre el líber y la albura, y añade á ésta una nueva capa y á aquel una nueva hoja. Tal es el mecanismo de la nutrición. Parando la atención en los árboles dicotiledones, se observa que cada año se enriquece la albura con una capa, y que lentamente van transformándose en madera las más antiguas ó sean las más próximas al centro. Puede patentizarse este fenómeno introduciendo á través de la corteza de un árbol un pedazo de metal que vaya á fijarse en la primera capa de la albura,

y al cabo de algunos años, veinte, por ejemplo, se verá que el metal está cubierto por 20 capas concéntricas. Su espesor disminuye del centro á la circunferencia, pudiéndose conocer cuáles corresponden á inviernos rigurosos, porque, cesando el movimiento de la savia en las épocas del frío, es claro que cuanto más duraderas sean éstas, menos tiempo se hallará la capa en formación y, por tanto, será más delgada.

Funciones de reproducción.—Bastará decir dos palabras sobre las funciones de reproducción. Al llegar á cierta edad, variable con las especies y climas, el árbol comienza á florecer, las flores se abren, los estambres se hinchan, y de su antera se desprende el polen, que recogido por el estigma ó parte superior del pistilo, penetra en los conductos que atraviesan el estilo y llega hasta el ovario. Las vesículas se alargan al atravesar aquellos conductos y se rompen en la parte superior del ovario que, fecundado entonces, constituye el fruto donde se desarrolla la semilla. Algunas veces el polen de la flor masculina atraviesa grandes distancias, y llevado por el aire ó por los pájaros, va á caer sobre el estigma que, para favorecer la realización del fenómeno, está cubierto de una membrana gomosa.

Cuando la flor y el fruto se secan, caen las semillas al suelo y empieza á formarse el nuevo vegetal.

MADERAS.

CORTA Ó APEO DE ÁRBOLES.

Época de la corta.—La época en que deben *cortarse* ó *apearse* los árboles se ha debatido mucho, porque resulta de la experiencia, que las maderas se pudren con mayor ó menor prontitud y son más ó menos resistentes, según la estación en que se han cortado los árboles de que proceden. Algunas autoridades en la materia recomiendan que se haga la corta en primavera, por más que no aparezca muy justificado, porque precisamente en esa época comienza el movimiento de la savia, que, al impregnar las fibras vasculares del tronco, las coloca en situación de fermentar con rapidez. Lo mismo puede decirse de la opinión de los que pretenden haber reconocido por la práctica que las maderas mejores son las apeadas en verano, en el momento que las funciones nutritivas han adquirido su máximo desarrollo.

La costumbre universalmente admitida, á lo menos en la zona templada, es cortar los árboles cuando la vegetación se adormece, esto es, después de la caída de las hojas, á la entrada del invierno. Una experiencia secular demuestra que las maderas cortadas en el primero ó los últimos meses del año, han resistido por mucho tiempo á todas las causas de destrucción, en las obras en que se han empleado, y es razonable conservar esta práctica tradicional, mientras no se demuestren sus inconvenientes de un modo terminante.

Hay madereros que opinan que las fases de la luna tienen marcada influencia en la calidad de los productos, creyendo que son menos atacables por los insectos las maderas apeadas en cuarto menguante. En la antigüedad estaba muy arraigada esta creencia, pero en el

día se atribuye, por lo general, mucha menos importancia á la acción lunar: sin embargo, en ciertas localidades, como por ejemplo, en las Antillas españolas, continúa consignándose en las condiciones facultativas para la ejecución de obras públicas, que las maderas habrán de cortarse en cuarto menguante.

Se ha defendido también por personas competentes, entre ellas Duhamel y Buffon, que deben descortezarse los árboles un año antes de apearlos, para obtener maderas más duras y menos propensas á ser destruídas por los insectos, pero el método no ha prevalecido, porque la madera apeada en aquellas condiciones se hiende y resquebraja con tal facilidad, que á veces sólo sirve para leña. Se comprende que así suceda, porque el sistema cortical es indispensable para la vida de los árboles y el privarles de él equivale á dejarles morir en pie; las maderas procedentes de árboles descortezados deben considerarse como maderas muertas, cuyo empleo se proscribe en absoluto para todas las construcciones, por sencillas que sean.

Sistemas de explotación y repoblación de montes.— Se pueden reducir á tres los métodos que se siguen para explotar los montes, que son:

1.° *Por cuarteles*, que es el más común y consiste en dividir el monte en varias porciones, apeando anualmente los árboles comprendidos en la que toque por turno; se dejan las *cepas* ó *tocones* sin arrancar para que se repueble el cuartel, como luego se dirá. Siguiendo este procedimiento, la superficie total del monte se aprovecha en un período que suele variar entre siete y veinticinco años, según las especies arbóreas, las prácticas de los diferentes países y la naturaleza del suelo. Á veces se exceptúan de la corta algunos árboles de buenas condiciones, que se llaman *resalvos*, que dejándolos á distancia adecuada unos de otros y sin cortapisas de aire ni de luz, se desarrollan con rapidez y producen más tarde maderas de calidad excepcional, dentro de la especie.

2.° *Por entresacas*, que se reduce á escoger los árboles que se han desarrollado bastante y que pueden cortarse, aclarando el monte, y dejando que los otros árboles más pequeños crezcan en circunstancias favorables para apearlos cuando convenga.

3.° Por *talas generales*, que es un sistema que se usa sólo cuando se quiere roturar un monte, cuidando entonces de arrancar por

completo las cepas, para que el suelo se pueda trabajar con las máquinas ó herramientas agrícolas.

Sea cual fuere el procedimiento de explotación que se siga, antes de apear los árboles conviene marcar los que puedan utilizarse para sacar maderas de construcción. Por regla general, deben elegirse los árboles que tengan la corteza sana, compacta y uniforme; cuyas hojas aparezcan y desaparezcan en las épocas normales, repartiéndose con igualdad en toda la copa y en particular en la cima; que presenten ramas robustas y de forma cilíndrica en la parte leñosa, así como el desarrollo proporcionado á su edad, y que al golpear el tronco produzcan un sonido seco.

Cuando se dejan las cepas en su sitio, brotan muchos retoños alrededor del cuello ó nudo vital, entre la albura y las capas corticales; estos brotes se cortan algunos años más adelante, pero dejando *resalvos*, que con el tiempo se convierten en verdaderos árboles, reproduciéndose así la especie, si bien con mucha lentitud.

Los montes se repueblan también *por siembra* ó *diseminación* y *por estacas*. Aquel es, en definitiva, el sistema natural de fecundación de la semilla, de que ya se ha hablado al explicar las funciones fisiológicas; es claro que para aplicarlo á un monte, se necesita tener cuidado de arrancar las cepas al apear los árboles que lo poblaban. La reproducción por estacas ó *plantones* produce excelente resultado en los árboles que crecen en las riberas, como sucede con el chopo, el sauce y otros muchos. Pero, de ordinario, se efectúa la repoblación criando los individuos, con todo género de precauciones, en lugares adecuados, que se llaman *viveros*, y trasplantando los arbolitos al sitio definitivo que han de ocupar, cuando tienen la fuerza y desarrollo necesarios para poder vivir y crecer sin las atenciones prolijas que exigen en sus primeros años. No se hacen más que estas ligerísimas indicaciones, que se amplían en el curso de Carreteras.

Procedimientos usados para apear los árboles.—La corta ó apeo de un árbol puede hacerse, según se deduce de lo que antecede, de tres maneras distintas: 1.ª, arrancando el tronco inmediatamente por encima del cuello, ó sea de su unión con la raíz, dejando en el suelo la cepa; 2.°, arrancando el árbol de cuajo con todas sus raíces, y 3.°, cortando el tronco y sacando las raíces por separado.

Apeo con hacha.—Para apear el tronco conservando la cepa, se puede emplear el hacha ó la sierra. En el primer caso, empieza el hachero por examinar el sitio y ver de qué lado conviene que caiga el árbol para facilitar las operaciones ulteriores y para que cause á los inmediatos el menor daño posible: en seguida, con hachas de una ó dos bocas, que pesan de 2 á 5 kilogramos, se practica una entalladura cuya profundidad sea mayor que la mitad del diámetro y que mire hacia la dirección en que convenga que caiga el árbol; éste se fija al terreno con una cuerda, que se ata á la copa y que se atiranta en el mismo sentido, bastando ya abrir poco á poco, por el opuesto otra entalladura, que determina la caida del tronco. Para no perder mucha madera debe procurarse hacer el corte lo más cerca posible del cuello, pero siempre se pierde algo, porque la entalladura abierta con hacha tiene cierta altura. También es preciso cuidar, si se quiere utilizar la cepa para la reproducción por brotes, de que su superficie superior no quede cóncava, sino convexa ó con alguna inclinación para que escurran las aguas de lluvia y no la pudran; por el contrario, cuando no se ha de aprovechar el tocón, puede recomendarse la forma de huso que dan al corte los hacheros de los montes de la provincia de Santander, porque queda en la cepa una cavidad cónica, que retiene el agua y favorece la pudrición de aquella, en beneficio del monte, porque además de servir de abono, impide que el tocón dé brotes, ocupando inútilmente un terreno á propósito para criar otros árboles.

Apeo con sierras.—El hacha se reemplaza á menudo con la sierra, que es más expedita y permite no desaprovechar madera, porque puede hacerse el corte por el mismo cuello. Para manejar la sierra ordinaria, se abren dos hoyos en el suelo y en direcciones opuestas con relación al tronco; en cada uno de ellos se coloca un aserrador, y entre los dos ponen en movimiento la herramienta.

En las explotaciones en grande se emplean hoy sierras mecánicas: la que parece produce mejor efecto es la de Ransome, compuesta de una hoja recta movida directamente por el vapor; es ligera, de fácil transporte y rápida en su acción, pues en menos de cinco minutos corta un roble de más de un metro de diámetro, y en una hora apea 8 árboles, incluyendo el tiempo invertido en trasladar la máquina. No se entrará en detalles, por no permitirlo el programa

de esta obra, pero se puede consultar el *Tratado de maderas de construcción civil y naval*, escrito por el ilustrado Ingeniero de montes D. Eugenio Plá y Rave.

Corta del árbol y de las raíces.—Cuando se quiere arrancar de cuajo un árbol, se descalza el terreno á su alrededor para descubrir y separar el cuerpo ó vástago principal de la raíz; se hacen luego otras excavaciones en sentido de las ramificaciones principales de aquella, y se levantan éstas con cuerdas y palancas; mientras tanto se conserva el árbol vertical con tres cuerdas, á lo menos, que se amarran á otros troncos; cuando las raíces están ya bastante desprendidas del suelo, no hay más que quitar con precaución uno ú otro de los vientos, para que el árbol caiga en la dirección que se desee.

Cuando se prefiera sacar las raíces por separado, basta desarraigar como antes el vástago principal, y cortar con hacha ó aserrar las raíces secundarias que parten de aquel; el árbol queda en pie, pero sin el apoyo necesario para sostenerse, no tardando en caer por sí solo. En cuanto á las raíces, se extraen después excavando el terreno.

Aplicación de la dinamita.—En la actualidad, cuando conviene verificar las cortas en poco tiempo, se acude al empleo de substancias explosivas enérgicas, como la dinamita. Para comprender los métodos que pueden seguirse y que se han ensayado en España, bastará transcribir el siguiente párrafo de la ya citada obra de Plá y Rave: «En Madrid se practicaron á principios de 1872 varias experiencias en la Casa de Campo, que dieron buenos resultados. Se eligieron dos álamos, uno blanco y otro negro, de $0^{m},50$ de diámetro: para derribar el primero se practicó un taladro horizontal de $0^{m},04$ de diámetro y $0^{m},25$ de profundidad, que se llenó de dinamita sin comprimir, empleándose quince minutos en la operación, y se prendió fuego á la carga por medio de la electricidad, y el árbol, aunque al pronto quedó en pie, se vino á tierra muy pronto por su propio peso: el segundo álamo se atacó ciñendo fuertemente al tronco un cartucho de tela relleno de un kilogramo de dinamita, prendiendo fuego por un extremo á la carga, que ardió toda instantáneamente con gran estruendo, y el árbol se desplomó, dejando perfectamente limpia la línea de separación en el sitio que ocupó el collar de la carga, cuya colocación é inflamación sólo exige algunos segundos.»

Aplicación de la electricidad.—Por último, en la India inglesa

y en los Estados-Unidos se ha ensayado la aplicación de la electricidad al apeo de los árboles: reducido á sus ejes, consiste el método en poner candente un hilo de platino por el paso de una corriente eléctrica; el hilo corta la madera sin producir aserrín y dejando carbonizada la sección.

CARACTERES DE LAS MADERAS MÁS IMPORTANTES.

Importancia de las maderas.—En el siglo XVI se expresaba en estos términos Bernardo de Palissy: «Algunas veces he querido formar una relación de las artes que dejarían de existir cuando no hubiese ya maderas; pero después de escritas muchas, no he podido nunca terminar la lista, porque pensándolo bien, deduje que no había ni una sola que pudiera ejercerse sin ese material.» Estas palabras, que reprodujo Fournier á la cabeza de su informe sobre maderas, con motivo de la Exposición universal de 1867, son siempre exactas, á pesar del prodigioso consumo de metales que se hace en todas partes. Si tres siglos atrás temía Palissy que se agotasen los montes, hoy pudiera preocupar más esa idea, ante el hecho de que la riqueza forestal de los pueblos civilizados va disminuyendo de día en día. Sin embargo, no es de temer que las maderas escaseen; si los montes del Centro y Mediodía de Europa se han despoblado en grandes extensiones, los paises del Norte y los bosques de dilatadas comarcas de Asia, de África, del Nuevo Mundo y de la Oceanía, ofrecen aún una masa inmensa de madera, que bastará para satisfacer, por muchos siglos, las necesidades de la industria. Además de las maderas conocidas de antiguo, se emplean ya hoy en las construcciones, y sobre todo en las navales, muchas especies exóticas, muy duras y resistentes, cuya aplicación se extiende con notable rapidez.

Clasificación de las maderas.—Se darán á conocer los caracteres más salientes de las maderas que con mayor frecuencia se usan en las obras públicas, y para introducir algún orden en el estudio, se dividirán en *duras*, *blandas*, *resinosas* y *finas*, por más que esta clasificación no tenga rigor científico, pues que muchas de las comprendidas en los dos últimos grupos son de gran dureza. En

stas cuatro secciones se indicarán las cualidades de las maderas inígenas y de aquellas que, procedentes de apartadas regiones, vegen en estos climas, cultivándose, en particular, como árboles de somra. En artículos especiales se hablará también de las maderas *exócas* de Asia, América y Oceanía, que se suelen emplear en Europa, de las que más se usan para construcciones en las colonias espaolas de Cuba, Puerto-Rico y Filipinas.

MADERAS DURAS.

Caracteres generales.—Todas las maderas de este grupo se istinguen bastante bien de las de los otros por su dureza, peso y oloración; es además frecuente en ellas el presentar alrededor de los írculos anuales, multitud de poros que hacen el efecto de puntos.

Á continuación se reseñan los caracteres particulares de las maeras duras más usadas.

Roble y encina *(Quercus)*.—Las maderas de *roble* y de *encina* on duras, elásticas y de bastante resistencia, tanto á la compresión omo á la tensión; sin embargo, desde el punto de vista de los esuerzos que pueden soportar, no ocupan los primeros puestos, como esulta de la tabla que se incluye más adelante. Hay especies de role que alcanzan hasta 35 metros de altura, con un diámetro proorcionado; la encina llega á tener de 15 á 18 metros, por 3 de cirunferencia en la base del tronco; por tanto, del roble y de la encina e pueden sacar piezas de grandes dimensiones.

Expuestas estas maderas al aire, son de las más resistentes, y ajo el agua, si no tiene el líquido materias extrañas que las descomongan, son completamente inalterables; presentan un color amarillo ardusco, que se obscurece al aire ó en el agua hasta hacerse negro; a albura, que es en general muy gruesa, y que se conoce con facililad en muchas especies por su color blanco, tiene menos peso que el orazón; en obras delicadas no deben admitirse piezas que no estén xentas por completo de albura.

APLICACIONES.—Algunas especies dan la mejor madera para carpinería de armar; la encina y el roble se emplean, sobre todo, en piezas resistentes ó en obras bañadas por el agua, como máquinas hiráulicas, pilotajes, presas, etc.; producen asimismo excelentes re-

sultados cuando se aplican á la preparación de traviesas para caminos de hierro. No admiten mucha clavazón, por lo que no son convenientes para piezas que hayan de llevar gran número de ensambladuras; en fin, se usan bastante en ebanistería para artesonados, muebles, etc.

Especies.—Son muchas las especies del género *Quercus* que se utilizan en la construcción ó en la industria; las principales se comprenden en el cuadro siguiente, que no es más que un extracto del detenido estudio hecho por D. Eugenio Plá:

Nombres científicos.	Nombres vulgares.	OBSERVACIONES.
Quercus pedunculata	Roble de fruto pedunculado, Roble albar (Asturias), Carballo y Carballo blanco (Galicia)..	Es la madera de más duración, quizá por el ácido tánico que contiene. Es irreemplazable para las piezas que han de estar sujetas á la acción del calor y de la humedad. Se encuentra en el Norte de España.
Quercus sessiliflora	Roble de fruto sentado, Roble común, Roble albar (Santander). ...	Se emplea también en toda clase de construcciones, ocupando, después del roble pedunculado, el primer lugar para las navales. En España se da en el litoral cantábrico, en el Pirineo aragonés y navarro, en Logroño, Alava, Salamanca y otras localidades.
Quercus cerris....	Rebollo.............	Se emplea mucho en la construcción, sobre todo en Oriente. Esta especie no se encuentra en España, pero se importa del Sur de Francia, de Hungría, de Austria y de Italia.
Quercus lusitanica..	Quejigo, Roble quejigo, Roble carrasqueño (Burgos)...........	Es de excelente calidad, con el único defecto de henderse fácilmente. Se encuentra en casi toda España.
Quercus ilex......	Encina, Encino, Carrasca, Chaparro, Matacanes (Murcia, sierra de España). Coscolla negra (Alcoy, sierra Mariola), Mataparda.....	Es también de buena calidad, pero con el defecto de alabearse y rajarse cuando se seca. Se emplea con mucha ventaja en las obras que deban estar sumergidas. Se cría en toda España.
Quercus suber..... *Quercus hispanica*.. *Quercus occidentalis*	Alcornoque.......... Mesto............... »	Estas tres especies se parecen bastante á la encina, pero se emplean poco en las construcciones, porque se alteran sometidas alternativamente á la sequía y humedad. Su principal aplicación es para la explotación del corcho, que constituye la envuelta suberosa. El alcornoque se encuentra en Cataluña, Extremadura y Andalucía.

Nombres científicos.	Nombres vulgares.	OBSERVACIONES.
Quercus tozza....	Rebollo, Roble, Melojo, Marojo, Roble negral ó tocio (Santander), Carballo negro (Galicia), Roble negro, turco ó villano (Asturias).....	Es madera mediana para la construcción, porque se agrieta, hiende y deforma mucho, y porque los insectos la atacan con preferencia á las demás especies de roble; además es muy nudosa y tiene mucha albura. Vegeta en Andalucía, Extremadura, las dos Castillas, Cataluña, Aragón, Alava, Guipúzcoa, Asturias y Galicia.

Castaño *(Fagus castanea)*.—El *castaño* da árboles de dimensiones extraordinarias; pero, por regla general, el grueso es inferior al del roble. La madera es algo parecida á la de éste, fibrosa y elástica; sus propiedades, desde el punto de vista del tejido fibroso, la colocan entre el roble y el olmo; se acepilla mal, y es poco susceptible de pulimento. Tiene el defecto de agusanarse en el interior, aun cuando en el exterior no lo acuse; se hace entonces dura y quebradiza. Se pudre fácilmente en medio de las mamposterías; bajo el agua resiste casi sin alteración. El castaño se encuentra en todo el Norte de España, en Avila, Cáceres y varias localidades de Andalucía.

Aplicaciones.—No se puede emplear en carpintería de armar por su tendencia á agusanarse; tampoco se usa en ebanistería; es excelente para pilotajes, pipas, tubos de conducción y mangos de herramientas, que se sacan de los plantones. El castaño da también un buen carbón de fragua.

Olmo *(Ulmus campestris)*.—Esta especie, á la que pertenecen las variedades llamadas *álamo negro* y *negrillo*, suministran piezas de dimensiones bastante considerables, pues el tronco llega á adquirir una altura de 14 metros y un diámetro medio de $0^{m},80$. Su madera es pardusca, y la albura amarilla clara y muy gruesa; las piezas son fibrosas, duras y elásticas, pero poco tersas en sentido de las fibras. El *olmo* es correoso y aguanta bien la clavazón; no se hiende fácilmente, no se corrompe en el agua, pero se tuerce y agusana expuesto á la intemperie. Hállase esta especie en Andalucía, Extremadura, Aragón, Cataluña, Castilla, etc.

Aplicaciones.—El olmo puede reemplazar al roble en las piezas de

grandes dimensiones que no estén sometidas á esfuerzos considerables; es muy útil para las que hayan de llevar muchas ensambladuras; se usa poco en ebanistería porque no admite pulimento, aunque cubierto de barnices grasos toma un color obscuro é imita al roble viejo. Su principal aplicación es á la carretería para la construcción de pinas y cubos de ruedas; se usa asimismo con ventaja en obras de molinos, prensas, husillos y tuercas, y en general para las piezas de madera de las máquinas hidráulicas.

Nogal *(Juglans regia)*.—Esta especie da maderas de gran diámetro con relación á su longitud, que es también considerable. La madera es fácil de conocer por su color pardo con vetas algo semejantes á las del jaspe. Se trabaja bien, y puede recibir un buen pulimento; resiste mal á los esfuerzos de flexión; no se alabea ni se agrieta, pero está muy expuesta á agusanarse y se pudre debajo del agua. Abunda el *nogal* en todo el Norte de España.

Aplicaciones.—Sus cualidades le hacen de mala aplicación para la carpintería de armar; pero es muy apreciado para ebanistería y objetos torneados. Se usa con frecuencia en máquinas y en carruajes, haciéndose á veces de nogal los cubos de las ruedas. Se emplea, por último, para modelos ó plantillas en la fundición del hierro, porque resiste muy bien á la deformación en las cajas de moldear.

Haya *(Fagus sylvatica)*.—El *haya* suministra en algunas comarcas húmedas y montuosas de España, árboles de los de mayor tamaño entre los que se conocen, pues llega á adquirir hasta 28 metros de altura.

La madera se puede reconocer fácilmente por su color rojo claro, y por estar salpicada de pajillas finas y brillantes que cubren la superficie de separación con la corteza. Estas mismas pajillas se presentan en las secciones rectas; en el sentido de los radios medulares ofrece facetas brillantes y satinadas más pequeñas y numerosas que en el roble.

Las propiedades de esta madera la harían excelente para la construcción, si no se alterase con facilidad y no estuviera expuesta á agrietarse y á agusanarse.

Sometida á la intemperie, á cubierto, se apolilla; debajo del agua resiste más que las otras maderas, pero si se extrae, fermenta y se pudre; un calor constante y fuerte la endurece mucho. Es, como se

verá más adelante, la madera dura que absorbe mejor las substancias antisépticas. Si después de cortada, no habiéndose inyectado, se deja secar durante un año, sumergiendo luego, por espacio de cinco ó seis meses las piezas escuadradas, puede emplearse para carpintería de armar, en construcciones de segundo orden. El haya, como el nogal, se encuentra en toda la parte septentrional de España.

Aplicaciones.—Presta muy buen servicio en obras hidráulicas constantemente bañadas por el agua. Se asegura que no hay riesgo de que se agusane en obras expuestas á vibraciones; pero esta propiedad no es exclusiva del haya, pues las vibraciones constituyen siempre una garantía para que no se alojen ni desarrollen los gusanos: de todos modos el haya, sobre todo si se ha inyectado, da muy buen resultado en traviesas de ferrocarriles.

Conviene para armaduras y cubiertas de talleres, fraguas, hornos, etc., donde está expuesta á un calor fuerte; es muy útil también para pilotajes y estacadas. Tiene otros usos menos importantes, como para cajas de los cepillos de carpintero, mangos de martillos de fragua, muebles, etc. La propiedad que recomienda su empleo, es la considerable resistencia que posee.

Fresno *(Fraxinius excelsior)*.—La madera se distingue por su color blanco, en el que se dibujan venas longitudinales amarillas ó rosadas. En las secciones transversales se observan coronas de madera dura, y capas con multitud de poros, como en el roble.

Es madera fuerte y elástica, de fibra unida y se trabaja fácilmente; con el tiempo se hace pesada, rígida y dura; tiene tendencia á agusanarse, en particular cerca de los nudos. El *fresno* vive en España en el litoral cantábrico, en los Pirineos, en León, en Burgos, etc.

Aplicaciones.—No da buen resultado en la carpintería de armar, pero se obtienen con el fresno ensambladuras muy sólidas. Entre las muchas aplicaciones á que se presta, se citarán las armaduras de sierra, prensas, remos, palancas, escalas, lanzas, y, en general, todos los objetos que hayan de presentar á la vez resistencia y elasticidad.

Eucalipto *(Eucalyptus globulus)*.—El *eucalipto* es un árbol de grandes dimensiones y hojas perennes, oriundo del Este de la Australia y la Tasmania, donde forma bosques impenetrables. Parecería natural hablar de él al tratar de las maderas exóticas, pero se colo-

ca en este sitio, porque su extraordinario desarrollo lo ha hecho el árbol de moda en los paises meridionales de Europa, en que arraiga perfectamente, aunque nunca adquiere el crecimiento á que llega en Oceanía. Hay, sin embargo, ejemplares que han crecido $0^m,50$ en un mes, y también los hay en Argel que en seis años han alcanzado 12 metros de altura y $0^m,50$ de circunferencia.

El tronco presenta en los primeros años la forma prismática, que poco á poco se va convirtiendo en cilíndrica. La madera de eucalipto es dura, resistente y de una gran densidad. Las hojas exhalan un olor fuerte y aromático, debido á la notable cantidad de esencias que contienen y á las que se atribuyen excelentes cualidades para neutralizar, ó cuando menos atenuar, los efectos de las emanaciones de pantanos, y como medicamento para las fiebres intermitentes. Por esta razón se han hecho grandes plantaciones en Extremadura, donde se conoce al eucalipto con el nombre de *árbol de las calenturas*.

La especie más conocida y cultivada en Europa es el *eucalyptus globulus;* pero hay otras, como la *robusta*, la *resinifera*, la *cordata*, etc., que por el gran desarrollo que alcanzan y su rápido crecimiento, son dignas de mencionarse.

APLICACIONES.—El eucalipto da maderas muy á propósito para las construcciones civiles y navales, que se están empleando con buen éxito en la mayor parte de los buques de alto bordo que hacen la travesía entre Inglaterra y Australia. De la corteza del eucalipto se extrae tanino para curtir las pieles, y la infusión de sus hojas se usa, como ya se ha indicado, para el tratamiento de las intermitentes.

Otras maderas duras.—Además de las maderas duras, cuya ligera descripción precede, conviene citar en este grupo el *carpe* (carpinus betulus), y el *ailanto* (ailanthus glandulosa).

MADERAS RESINOSAS.

Caracteres generales.—Se distinguen muy bien estas maderas de todas las demás por los caracteres de sus secciones longitudinales y transversales. Obsérvanse en las primeras, fajas estrechas de

colores claros, separadas por otras de una coloración más intensa, que son las cargadas de resina. En las secciones transversales, las zonas de color claro se hallan rodeadas por otras de matiz más obscuro. La resina que impregna los vasos da cohesión y elasticidad á las fibras, de modo que la madera se considera tanto mejor cuanto más desenvuelta está la parte resinosa: se prefieren, pues, para los trabajos de carpintería de armar las más subidas de color y más pesadas, por ser indicio de que contienen mayor cantidad de resina.

Estos árboles requieren que se les descortece inmediatamente que se apean, pues de lo contrario, se agusanan. La madera cuya resina se ha explotado, durante el crecimiento del árbol, se considera, por lo general, como superior en duración y resistencia á la que no ha sufrido aquel aprovechamiento; la que se ha sangrado por completo, no puede aprovecharse más que para leña.

Las maderas resinosas reemplazan á las duras, á las que se aproximan por su resistencia y duración. La magnitud de las piezas, su baratura y demás condiciones, hacen que este grupo sea muy importante para el Ingeniero; el pino, uno de sus principales géneros, es la madera más usada en las obras.

Pino *(Pinus)*.—El *pino* es abundantísimo en especies. No es preciso indicar caracteres generales después de expuestos los del grupo, que le corresponden por completo; los particulares de cada especie se indicarán muy pronto. De los colores que ofrece, que son el rojo, el amarillo y el blanco, el primero corresponde á las maderas más resistentes; el pino amarillo viene á ser el término medio entre los otros dos.

El mejor pino que se usa en Madrid es el *negral* de Cuenca, procedente de la sierra de Segura, y se emplea para todas las piezas resistentes y de duración, siendo el que se exige ordinariamente para la carpintería de armar. Para tablazón y serradizos se usa en especial el pino de Soria, y para la carpintería de taller, el llamado *blanco ó de la tierra*, que proviene de Balsain, San Martín de Valdeiglesias, etc. El pino de Cuenca es duro, pesado y resinoso; el de la tierra, ligero, de fibra recta, poco resinoso, limpio y fácil de trabajar, pero de corta duración. Estas diferentes condiciones explican sus diversos usos.

ESPECIES.—Las especies más comunes de pino, cuyas propiedades se

detallan en la obra de Plá y Rave, se consignan en el cuadro siguiente:

Nombres científicos.	Nombres vulgares.	OBSERVACIONES.
Pinus sylvestris...	Pino albar, Pino de Balsain, Pino royo, Pino de arboladuras, Pino silvestre......	Es árbol de grandes dimensiones, pues llega á medir de 30 á 40 metros y 4 de circunferencia, aunque en España no adquiere tanto crecimiento. El color del duramen varía del rojo al amarillo, y sus condiciones son también muy distintas. En el Norte de Europa, se crían los pinos de esta especie, que producen maderas de construcción de primer orden. En las latitudes de España sus condiciones desmerecen, pero se pueden emplear en viguerías ó serradizos, según las variedades. Esta conífera forma montes en Cataluña, Pirineo aragonés, Navarra, Alava, Logroño, Burgos, Soria, Avila, Guadarrama, Teruel, Castellón, Sierra Nevada, etc.
Pinus montana...	Pino negro.........	Esta madera se parece mucho á la de pino silvestre del Norte de Europa; los pinos negros de los Alpes son después del alerce, los más apreciados para la construcción. En España sólo se da en los Pirineos catalán y aragonés.
Pinus laricio.....	Pino salgareño, Pino negral (Cuenca, Guadalajara y Castellón), Pino nasarro (Huesca), Pino pudio (Burgos), Cascalbo (Ávila)............	El duramen, de color rojo parduzco, tiene excelentes condiciones para la construcción. Es la madera que más se emplea en España para carpintería de armar, y produce también buen resultado para traviesas de ferrocarriles. Se cría en Cataluña y en todas las localidades enumeradas al dar á conocer los nombres vulgares.
Pinus pinaster....	Pino rodeno, Pino negral (Andalucía y sierras de Guadarrama y de Gredos), Pino rodezno (Jaén), Pino carrasco (Sierra Nevada), Pino marítimo, Pino de las Landas............	El duramen es de color rojo claro; la madera es dura, de fibra gruesa y poco elástica. A esta especie pertenecen muchos de los tablones que se importan del Norte de Europa. Se emplea principalmente en serradizos, traviesas y postes telegráficos. En España se encuentra en Andalucía, Valencia, Cuenca, Soria, Castellón, Burgos, Logroño y en la costa y alguna otra localidad de Cataluña.
Pinus pinea......	Pino piñonero, Pino de comer, Pino doncel (Cuenca), Pino uñal, Pino vero (Valencia), Pino blanco (Guadarrama), Pino de la tierra, Pino real (Andalucía)...	Esta madera se parece á la del pino rodeno, pero es más ligera y menos compacta. Se aplica en España, principalmente para carpintería de blanco. Abunda en las localidades que se han citado al enumerar los nombres vulgares y en otras muchas.

Abeto, pinabete y pinsapo *(Abies)*.—Las grandes relaciones que ligan á estos tres árboles y á sus maderas, inducen á describirlos á la vez. Los nombres vulgares corresponden á tres especies botánicas distintas, que son la *excelsa*, la *pectinata* y la *pinsapo*. Las tres tienen el mismo aspecto, presentando su tronco recto, rodeado por las ramas dispuestas en pisos casi horizontales, que dan á los árboles la forma de una pirámide.

Las hojas del *abeto* son verdes obscuras y brillantes por un lado y plateadas por el opuesto; se hallan insertas en las ramas, á manera de las púas de un peine. Las del *pinabete* y el *pinsapo* no son plateadas por ninguna de sus caras, y circundan á las ramas, formando á su alrededor un cilindro.

Los pinabetes de primera magnitud alcanzan hasta 40 metros de altura, por 2 de diámetro en la base. La madera es poco resinosa y de color blanco ó con un matiz pardo-rojizo muy claro; no se conserva bien si está expuesta á la acción de la humedad ó á cambios bruscos de temperatura. La elasticidad del pinabete es considerable, superior á la de las otras maderas resinosas indígenas y aun á la de la mayor parte de las exóticas. En los países del Norte, donde es muy abundante y adquiere gran desarrollo, recibe variadas aplicaciones, importándose á España y á otros países en forma de tablones que se emplean en construcción civil y naval, debiendo preferirse siempre la madera que tenga los círculos más estrechos. Vegeta el pinabete en los Pirineos aragonés y navarro, y en Cataluña, en el Monseny.

El pinsapo es espontáneo en España y abunda principalmente en la serranía de Ronda; puede aplicarse á él cuanto se ha dicho del pinabete.

La madera de abeto es de textura más homogénea que la de pinabete y de color más claro; aunque es más ligera y menos fibrosa, tiene las mismas aplicaciones; se aprecia mucho el abeto, cuando no presenta nudos y está sano, para la construcción de cajas sonoras de instrumentos de música. Según la autorizada opinión del Inspector general de Montes, D. Máximo Laguna, no se encuentra este árbol, á lo menos formando rodales, en ningún monte de España.

Alerce *(Larix europæa)*.—Breves palabras se dirán acerca de esta clase de madera que no es propia de nuestro país. Tiene las buenas condiciones de las resinosas, y es la más duradera de todas, ex-

puesta á la intemperie; debajo del agua adquiere gran dureza, resistiendo á cualquier clase de herramientas; arde muy difícilmente.

Los *alerces* se distinguen de los abetos y pinabetes en que las ramas caen hacia el suelo.

Las tablas de alerce que se usan á veces en España proceden de los puertos del Adriático.

Ciprés *(Cupressus sempervirens)*.—El *ciprés* produce una madera muy dura, olorosa, con vetas rojas y casi incorruptible, cuyo empleo no está muy generalizado por la lentitud con que se desarrolla el árbol. Como prueba de la extraordinaria duración de esta madera, bastará decir que las puertas de la iglesia de San Pedro, en Roma, hechas de ciprés, en tiempo de Constantino, se conservaban bien cuando Eugenio IV las reemplazó, once siglos después, con otras de bronce. El tronco pasa con mucha frecuencia de 15 metros de altura y llega hasta 0m,40 de diámetro.

El ciprés es excelente para carpintería de armar, ebanistería, objetos torneados y esculturas.

Araucaria *(Araucaria)*.—La variedad *excelsa* produce los árboles más pintorescos de los que se emplean para adorno; procede de la isla de Norfolk y se da bien en varios puntos de España. La *araucaria*, como el abeto y el pinabete, tiene las ramas extendidas alrededor del tronco, formando planos horizontales.

La variedad *imbricata*, originaria de Chile, llega á 50 metros de altura y resiste temperaturas menores que la *excelsa*, lo que hace que se cultive más en Europa.

Wellingtonia *(Wellingtonia gigantea)*.—La *wellingtonia* es también árbol de adorno, del que se encuentran algunos ejemplares sin salir de Madrid. Conviene citarlo, porque es la más gigantesca de las coníferas; en California, su patria, llega á adquirir su tronco 10 metros de diámetro y 100 de altura.

Cedro *(Pinus cedrus)*.—El *cedro*, árbol de importancia histórica, es originario del Líbano y el Himalaya, donde adquiere colosales proporciones. La madera, de grano muy fino, es demasiado blanda para admitir pulimento; exhala un olor agradable que evita que se agusane y que contribuye á su duración. Se emplea principalmente en Europa para cubrir el interior de los muebles de lujo.

MADERAS BLANDAS.

Caracteres generales.—Los caracteres que presentan estas maderas permiten distinguirlas fácilmente de las demás. Ofrecen un tejido blando y esponjoso, semejante á la albura de las maderas duras; su color es blanco más ó menos limpio; no se observan, ó están muy poco marcados, los círculos de crecimiento anual, así como la albura, que sólo se distingue de la madera perfecta por ser aquella algo más blanda.

Estas maderas son poco resistentes y duraderas, pero más fáciles de trabajar que las anteriores, por cuya razón se emplean casi exclusivamente para la carpintería *de blanco ó de taller*.

Géneros.—Hay muchas clases de maderas blandas, pudiéndose citar entre ellas el *aliso común* (alnus glutinosa), el *abedul* (betula), el *almez común* (celtis australis), el *arce* (acer campestris), el *plátano oriental* y *occidental* (platanus orientalis y occidentalis), el *tilo* (tilia platiphylla), los diferentes géneros y especies de *acacias* (gleditschia y robinia), el *castaño de Indias* (æsculus hippocastanum), el *sauce* (salix), el *laurel* (laurus nobilis) y otras muchas; pero solamente se describirá como tipo el *álamo blanco* (1).

Álamo blanco *(Populus alba)*.—Hay en Europa unas veinte especies de álamo, pero se tratará en particular, de las conocidas con los nombres de *álamo blanco* y de *chopo*, que son casi idénticas. La madera es blanca, y de fibras finas y homogéneas, venas y capas anuales apenas visibles. El chopo es blando y ligero, fácil de trabajar, susceptible de buen pulimento, pero poco resistente y duradero; se puede inyectar fácilmente, excepto en el corazón. Se da bien en todas las comarcas húmedas y sobre todo en las riberas; es una de las especies arbóreas que se reproducen mejor por estacas.

APLICACIONES.—Se usa á veces esta madera en carpintería de ar-

(1) Para la descripción de todos los árboles citados y otros muchos que se usan para adorno y sombra en paseos y caminos, puede consultarse el *Compendio de Arboricultura*, escrito por el Ingeniero jefe del Cuerpo, D. Luis Sainz y Gutiérrez.

mar, aunque es peligrosa en suelos ó vigas, porque se rompe sin dar señales de ello. Su principal uso es para ebanistería, por lo bien que se alisa y acepilla, á causa de no presentar nudos. Por su ligereza y facilidad de trabajarse se busca también para cajones de embalaje.

MADERAS FINAS.

Caracteres generales.—La mayor parte de las maderas así llamadas, provienen de árboles frutales ó exóticos. Tienen por caracteres comunes presentar una estructura homogénea y compacta, resultante de la unión íntima de fibras finas y rectas. Ofrecen, en general, bastante dureza y resistencia, y son susceptibles de tomar buen pulimento. Esto, unido á sus coloraciones, que muchas veces son variadas y agradables, las hace muy á propósito para la decoración y las chaperías. Los árboles de que proceden no suelen ser de gran tamaño, ni de tronco recto, de suerte que no tienen aplicación en las obras más que como elementos de ornamentación, ó para ciertas piezas de las máquinas y herramientas, tales como ejes, clavijas, llaves, etc. Se citarán, entre las maderas del país, las de *peral, serbal, boj, cornejo, madroño, cerezo, ciruelo, olivo, manzano, acerolo, níspero del Japón, acebo, aligustre, aladierna, avellano, saúco, etc.*, y de ellas sólo se describirá la primera.

Peral.—La madera tiene un color rojizo, es pesada y de textura fina. Suave, correosa, muy unida é igual, se acepilla y se corta bien en todos sentidos y se hiende rara vez; los gusanos no la atacan y se pulimenta perfectamente. Es preciso esperar para trabajarla, á que se seque bien, pues experimenta una gran contracción. La madera de *peral* es muy dura y más aún si no procede de árboles de jardín.

Aplicaciones.—Se emplea para montar las herramientas de ebanista, y para rodajas y otras piezas análogas de las máquinas; es muy apreciada para esculturas de madera, y también una de las que mejor pueden suplir al boj para el grabado; teñida de negro y pulimentada, imita al ébano hasta el punto de ser muy difícil distinguirla de él; finalmente, tiene gran aplicación para tornear objetos delicados.

MADERAS EXÓTICAS.

Breves palabras bastarán para dar á conocer las principales maderas exóticas que se usan en España.

Caoba (*Swietenia mahogani*). — La *caoba* forma bosques importantes en América, principalmente en las Antillas, Méjico, Honduras y Brasil, y se cría también en África y en Asia. La madera es compacta é inalterable, aunque de desigual resistencia y no mucha duración; presenta fibras onduladas, y el pulimento produce tablas veteadas, cuyo dibujo es muy variado y caprichoso en la unión con el tronco de las ramas y raíces. La caoba sumergida en el agua aumenta considerablemente de peso; expuesta al aire, se obscurece su color claro.

En Europa se usa exclusivamente en ebanistería, pero en América se emplea con frecuencia en construcciones civiles y navales. En el comercio se designan, con el nombre de *caoba hembra,* diversas maderas exóticas parecidas á la caoba, como la *cedrela odorata,* ó sea *caoba de Guayana, cedro rojo, cedro de las Antillas* y *calantás de Filipinas;* la *cedrela guianensis;* la *cedrela australis,* etc.

Palo santo (*Guaiacum officinalis*). — El *palo santo*, procedente del Brasil y las Guayanas, se explota asimismo en abundancia en Cuba y Puerto-Rico, donde se conoce comúnmente con los nombres de *guayaco* y *guayacán*. Es una madera dura, seca, resinosa, de olor suave, que admite perfecto pulimento, y que está formada por fibras negras separadas por partes más blandas y menos obscuras. Tiene casi la misma densidad que la caoba, y, como ella, se usa para la construcción de muebles.

Ébano (*Diospyros*).—Existen muchas variedades, que casi todas se dan en la isla de Cuba. La más importante, el *ébano real* (diospyros ebenus), es un árbol de 12 á 15 metros de altura y de $0^{m},25$ á $0^{m},30$ de diámetro. La madera es de corazón negro, fina y compacta, y se emplea en ebanistería para los muebles de más lujo, en los que suele entrar el marfil como elemento decorativo. Es una madera muy pesada.

Majagua (*Paritium elatum*).—La *majagua* crece también en

Cuba, llegando á tener el tronco hasta 18 metros de altura y 1 de diámetro. Las fibras del líber no alteran sensiblemente su longitud por las variaciones higrométricas y de temperatura, lo que hace que reemplacen con ventaja á las cintas y cadenas para la medida de distancias. La madera, de un color amarillo ó verdoso claro, es dura, elástica, de fibras rectas y muy útil para multitud de objetos industriales. Las banderolas más estimadas para trabajos topográficos, muchos trípodes y cajas ó armaduras de aparatos, se hacen de majagua.

Teca *(Tectona grandis)*.—La *teca*, llamada también en España *ticla* y *yate*, y en Filipinas *calatayate*, es un árbol que alcanza á veces una altura de 80 metros; á la edad de noventa años suele tener 20 metros de elevación, hasta las primeras ramas, y 1 metro de diámetro; la madera es de color parecido al del roble, compacta, dura, pesada, sin nudos, resistente y fácil de trabajar; es muy untuosa, porque la impregna una resina que evita que se agusane y que se oxide el hierro puesto en su contacto. La teca es la madera de más duración, aunque no incorruptible como algunos suponen, y de mayor resistencia á las alternativas de calor y humedad.

La teca de mejor calidad es la procedente de Java; en segundo término, la de Malabar, y en tercero, la de la India, Siam, Birmania y otros puntos, que es la que más abunda en el mercado. Según el P. Blanco, la teca es común en algunos montes de Visayas, Mindanao, Zambales, etc., en el archipiélago filipino.

La teca se emplea mucho en todas las naciones para construcción naval; en Inglaterra se aplica también para la civil, sobre todo para puertas de esclusas; finalmente, gran número de fábricas la utilizan para coches y vagones de ferrocarriles.

MADERAS USADAS EN LAS CONSTRUCCIONES

EN LAS COLONIAS ULTRAMARINAS.

MADERAS USADAS EN CUBA.

Extraordinario es el número de géneros y especies arbóreas, que vegetan en la isla de Cuba. En la imposibilidad de darlas á conocer

todas, no se hará más que enumerar las principales, que son muchas, sin embargo, haciendo ligeras indicaciones sobre sus propiedades y aplicaciones, que se extractan del detenido estudio que hizo el coronel D. Nicolás Valdés, y de los antecedentes suministrados por el Ingeniero de Caminos, D. Manuel Iribas.

Ácana *(Sapote acana)*.—Madera dura, no muy elástica, de fibra recta, de color rojizo morado, que se obscurece con el tiempo. Se usa en construcciones de cualquier género, incluso las hidráulicas, en carpintería y en ebanistería. Abunda el árbol en todos los montes de la isla.

Aguacatillo *(Persea borbonica)*.—Árbol de 8 á 10 metros. Madera fuerte, pesada y elástica; de color amarillo, que baja de tono del corazón á la albura; ésta poco menos resistente que el duramen. Se rompe casi á tronco por flexión y tensión, y en astilla larga por torsión. Se puede emplear en todas las construcciones, en especial en las que exijan gran elasticidad.

Arriero.—Árbol que puede pasar de 12 metros. Madera de dureza uniforme; amarillo-rosada, con vetas longitudinales, negras en el centro; de fibra recta, sin poros y susceptible de hermoso pulimento. Se rompe casi á tronco por tensión, y en diagonal y de pronto por flexión y torsión. Se puede emplear en todas las construcciones.

Ayua *(Zanthoxylon ternatum)*.—Árbol de 12 á 14 metros. Madera blanda y fácil de trabajar, amarillenta, de fibra recta y porosa. Expuesta la madera al sol se cuartea y hiende, por lo que no debe emplearse á la intemperie: su aplicación principal es para tableros y cercos de puertas interiores, y para cajas de azúcar y mercancías.

Azulejo.—Árbol de 8 á 10 metros de altura y $0^{m},30$ de diámetro. Madera casi toda de corazón, amarilla, nada porosa, de fibra recta, compacta, elástica y fuerte. Abunda en Vuelta-Abajo y en la isla de Pinos. Se puede emplear con ventaja en toda clase de construcciones y de envases.

Baria *(Cordia)*.—Hay que distinguir dos especies:

1.° La *baria prieta* (cordia speciosa).—Árbol de 8 á 10 metros y $0^{m},50$ de diámetro. Madera fácil de trabajar; de albura porosa y amarillo-blanquecina, y de corazón amarillo-rosado, muy compacto y fuerte. Se rompe casi á tronco por flexión, y diagonalmente por

tensión y torsión. Se emplea para cuartones en las construcciones urbanas.

2.° La *baria blanca* (cordia eliptica).—Árbol mayor que el anterior. Madera más consistente, de color blanco-amarillento, con vetas negras longitudinales, interrumpidas como las fibras. Se rompe siempre en astilla larga. Se emplea más que la baria prieta por su mayor elasticidad y tenacidad; se usa también en tablas, para forros y pisos de barcos.

Birigí *(Eugenia buxifolia)*.—Madera de corazón y albura igualmente duros, amarillo-rojizo ésta y rojo aquel. Abunda bastante en el centro de la isla y en Vuelta-Abajo. Es muy buena para las construcciones, aunque bastante nudosa. Se rompe siempre casi á tronco.

Canelilla.—Árbol de Vuelta-Abajo y de la costa del Sur. Madera toda de corazón, compacta, amarillo-rojiza, de fibra recta y difícil de trabajar. Se rompe á tronco ó en diagonal muy corta; es buena para todas las construcciones, en especial para tablazones, carruajes y objetos de industria, que requieran fuerza y elasticidad.

Caoba *(Swietenia mahogani)*.—Descrita ya al tratar de las maderas exóticas, sólo se añadirá que, aunque no muy resistente, se emplea en Cuba en construcciones urbanas y militares.

Capá-rota.—Árbol de 8 á 10 metros y tronco de $0^m,30$ á $0^m,40$ de diámetro. Madera amarillo-rosada, toda de corazón, fuerte, fácil de trabajar, muy elástica y resistente, de fibra recta y algo reticulada; muy á propósito para las construcciones civiles y navales. Se rompe en astilla larga.

Carbonero *(¿Capparis Jamaicensis?)*—Árbol de 10 á 12 metros; tronco de $0^m,20$ á $0^m,40$ de diámetro. Madera blanco-amarillenta, de dureza uniforme y de fibra recta. Resiste bien debajo del agua, siendo muy á propósito para pilotajes. Se rompe por flexión y torsión en diagonal corta, y por tensión casi á tronco.

Cedro *(Cedrela odorata)*.—Árbol que no debe confundirse con el de igual nombre, originario de Asia; es uno de los que se ha dicho que se conocen en el comercio con el nombre de *caoba hembra*. Crece con más rapidez que la caoba, llegando en cuarenta años á más de 30 metros de altura y el tronco á más de 3 metros de diámetro. Madera con bastante albura, pero cuyo corazón es muy grueso y basta para sacar grandes piezas, utilísimas para todo género de

construcciones é industrias, labrándose con tanta facilidad como el pino, y con la circunstancia favorable de no alterarla el *comején* (1) ni ningún otro insecto. Su color es rojo y tiene aspecto parecido al de la caoba, aunque es más porosa y de calidad inferior que ésta. Abunda mucho y se rompe casi á tronco por flexión y tensión, y en astilla larga por torsión.

El *cedro hembra* es una variedad del anterior; de madera menos densa, elástica y resistente; de color más claro, y no tan estimada para los diferentes usos á que se destina el cedro; se emplea ordinariamente para cajas de tabacos.

Cerillo *(Exostemma caribeum)*.—Árbol cuyo tronco llega á 9 metros de altura por $0^m,50$ de diámetro. Madera rojiza, de corazón fuerte y compacto y albura menos dura; muy elástica y resistente y fácil de trabajar. Sería una de las primeras maderas si no la atacase y destruyese un insecto, que la busca con preferencia; los árboles que se consiguen sanos son inapreciables para todo género de construcciones, incluso para las que han de estar sumergidas en el agua. Se rompe á lo largo por flexión y tensión, y á tronco por torsión.

Cuajaní *(Cerassus occidentalis)*.—Árbol de 10 á 15 metros y tronco de $0^m,30$ á $0^m,40$. Madera casi toda de corazón, fuerte, compacta, amarillo-rosada y de fibra recta y reticulada. Abunda en las sierras y á orillas de los ríos, en todas las Antillas. Se emplea principalmente en tablazón, cuidando de pintarla, si se usa al aire libre, para defenderla de un insecto, que entonces cría. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á tronco por torsión.

Cuero duro.—Árbol de 8 á 10 metros; tronco de $0^m,50$ á $0^m,60$. Madera cenicienta, toda de corazón, compacta y dura; es muy resistente, y en especial á la tensión la igualan muy pocas maderas. Abunda en el centro de la isla y sirve para toda clase de construcciones, particularmente para postes, péndolas, carpintería, ruedas hidráulicas, ejes de máquinas, etc. Se rompe á lo largo, astillándose por las aristas.

Chicharrón *(Chicharronia intermedia)*.—Árbol de unos 12 metros, tronco de $0^m,56$ á $0^m,60$. Madera fuerte y dura de trabajar, elástica y muy resistente á la tensión; de fibra recta, de corazón ex-

(1) El *comején* es un insecto neuróptero parecido á la *carcoma*.

céntrico y negruzco, y de albura verdoso-amarilla. Se puede usar para todas las construcciones, pero se aplica en especial á trabajos de carretería y á trapiches y ruedas de molino, hidráulicas y dentadas. Se rompe en diagonal larga, astillándose, por tensión y torsión, y á tronco, sin acabar de separarse las fibras, por flexión.

Dagame *(Calycophyllum candidisimum)*.—Tronco de 15 metros de alto y de 0m,40 á 0m,60 de diámetro. Madera toda de corazón, limpia y de resistencia uniforme, gris-amarillenta, compacta y de fibra recta. Es bastante elástica y muy fuerte y útil para todas las construcciones navales y urbanas, pudiéndose usar también en la industria, en máquinas, carruajes, cureñas, etc. Abunda mucho y se rompe siempre á lo largo.

Ébanos *(Diospyros)*.—Se describieron ya entre las maderas exóticas.

Granadillo ó ébano rojo *(Brya ebenus)*.—Hermosa madera, sumamente dura y compacta, vidriosa y veteada; corazón de color de tabaco obscuro, y albura amarillenta, de poco espesor y algo menos compacta que aquel. Se rompe casi á tronco; se emplea en ebanistería y es muy buena para pies derechos, porque es, entre todas las maderas de la isla, la que más resiste á la torsión y á la presión, en sentido de las fibras.

Guamá de costa *(Lonchocarpus sericeum)*.—Tronco de 8 á 10 metros de alto y de 1 de diámetro. Madera casi toda de corazón, fuerte y tenaz, amarillenta, de fibra recta, con algunas vetas negras á lo largo; se conserva bien debajo del agua. Abunda en la isla de Pinos y en la costa del Sur, y es muy á propósito para pies derechos, entarimados, pilotajes, etc. Se rompe en astilla larga por flexión y tensión, y á lo largo por torsión.

Guao conchita *(Comocladia dentata)*.—Árbol de 6 á 10 metros; tronco de 0m,30 á 0m,40, ocupado en casi toda su extensión por el corazón, de color rojo. Se rompe siempre en diagonal corta, y en virtud de su mucha elasticidad y bastante resistencia puede emplearse en las construcciones; para debajo del agua es excelente. Este árbol es tan venenoso, que su sombra basta para entorpecer la respiración.

Guayaco, guayacán ó palo santo *(Guaiacum officinalis)*.—Á lo dicho al hablar de las maderas exóticas, sólo hay que añadir

que el palo santo, á causa de su dureza, se emplea en Cuba en dientes de ruedas, ejes, tornillos, poleas, etc.

Guayraje *(Eugenia baruensis)*.—Árbol de 7 á 8 metros. Madera toda de corazón, dura, compacta y de fibra recta. Por su resistencia y elasticidad es muy adecuada para las construcciones de edificios, para carretería y para multitud de objetos de industria; sirve asimismo para obras hidráulicas, porque se conserva bien debajo del agua. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á lo largo por torsión.

Jagüey *(Ficus dimidiata)*.—Árbol secular, las más de las veces parásito, que llega á 10 metros de altura. Madera casi toda de corazón, amarillo-verdosa, con extensas vetas obscuras en el centro, no difícil de trabajar; es buena para ebanistería y para cualquier clase de construcciones, en particular para las expuestas á la presión y á la torsión, dentro y fuera del agua. Abunda mucho en la isla y se rompe siempre en diagonal corta, astillándose. Las fibras del liber son tan fuertes como las que se extraen de la majagua y gozan de las mismas propiedades higrométricas.

Jaimiquí, llamado también *almiquí* y *yaimiquí*.—Árbol de unos 12 metros de alto; tronco que llega á 0m,80 de diámetro. Madera fina, uniforme, amarillo-rojizo y de fibra compacta. Se parece bastante al ácana, pero á la intemperie se alabea algo, y no resiste bien debajo del agua. Se rompe casi á tronco.

Jibá *(Erithroxylon alternifolium)*.—Madera toda de corazón, dura, resistente y elástica; fibra recta y algo reticulada; color amarillo en el centro y amarillo-obscuro ó verdoso en los extremos, de donde salen algunas vetas y manchas hacia el centro, que hacen muy vistosa la sección transversal, y propia la madera para trabajos de ebanistería. Se puede emplear también con ventaja en toda clase de construcciones, aunque es algo pesada para las navales. Por flexión y tensión se rompe á media madera larga, y por torsión á lo largo, astillándose las aristas.

Jiquí de ley *(Bumelia nigra)*.—Árbol que se eleva á 12 metros y que abunda en todos los terrenos, en el interior de la isla. Madera fuerte, pesada, de corazón pequeño y rojo-obscuro, de albura uniforme y blanco-amarillenta; de fibra recta; elástica y dura de trabajar; bastante resistente á la tensión, y mucho á la presión y

torsión. Se emplea en toda clase de construcciones, y en especial en pies derechos y piezas de armaduras. Se rompe en diagonal corta.

Júcaro negro ó bravo *(Bucida buceras)*.—Árbol de más de 20 metros de altura, tronco de 0 ,80 á 1 metro de diámetro. Madera muy dura y fuerte; amarillo-verdoso-obscura, con vetas longitudinales interrumpidas, negras y claras, siendo el corazón de color más subido, pero no de mayor resistencia. Es muy fuerte en todos conceptos, muy elástica é incorruptible debajo del agua; es una de las mejores maderas que se conocen y se aplica á cuantas construcciones y objetos de industria se quiera. Á causa de la altura del árbol y de lo derecho que es su tronco, se pueden preparar con esta madera magníficos pilotes de más de 20 metros de longitud y de $0^m,50$ á $0^m,60$ de diámetro en la cabeza. Se rompe á media madera, y por la torsión á tronco, astillándose. Abunda mucho en Cuba, en Santo Domingo y en Puerto-Rico, donde la llaman *húcaro* y *húcar*.

Leviza *(Laurus)*.—Tronco de 6 metros de largo por $0^m,30$ de diámetro. Madera fuerte, compacta, toda de corazón, amarillo-verdosa y de fibra reticulada: excelente para las construcciones, en particular para las urbanas, y para carretería y ebanistería. Se suelen hacer con ella ejes de carretas, estevas y lanzas de arados. Se rompe en astilla larga por flexión y tensión, y á tronco por torsión.

Lino.—Precioso árbol de 8 á 10 metros de altura; tronco de $0^m,40$ de diámetro. Madera toda igual y amarilla de oro; de fibra recta muy unida; elástica, resistente y fácil de trabajar; se agrieta algo al aire libre, y conviene no exponerla al sol sin pintarla ó barnizarla. Se rompe astillándose, por flexión; por tensión, casi á tronco; y por torsión, á lo largo, astillándose también. Se puede emplear en todas las construcciones urbanas y navales, y en multitud de objetos de industria.

Lirio morado.—Madera compacta, de corazón, de fibra recta, muy elástica y resistente, amarillo-morada, y muy á propósito para toda clase de construcciones y para la ebanistería. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á lo largo por torsión.

Maboa blanca *(Cameraria latifolia)*.—Árbol de 10 á 15 metros; tronco de $0^m,50$ á $0^m,60$. Madera cenicienta, muy pesada y elástica; de gran resistencia á la tensión y sólo regular á la presión.

Es á propósito para vigas, péndolas, puentes y construcciones navales; se conserva bien debajo del agua y en terrenos húmedos. Se rompe á media madera larga.

Macurije *(Cupannia oppositifolia)*.—Árbol de 10 á 12 metros; tronco de $0^m,50$ á $0^m,60$. Madera blanco-amarillenta, dura, compacta, limpia, toda de corazón; excelente para las construcciones. Abunda en la costa del Sur, en las laderas y en las orillas de los arroyos. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á tronco por torsión.

Majagua *(Paritium elatum)*.—Descrita esta madera entre las exóticas, sólo hay que agregar que para los usos de la industria ocupa uno de los primeros lugares entre las mejores.

Mamey *(Lacuma mammosa)*.—Madera de color rojo subido, fuerte, compacta, muy elástica; resiste lo mismo al sol que debajo del agua; es una de las maderas que deben ponerse en primer término para construcciones, ejes de ruedas hidráulicas, carretería, muebles, etc. Las piezas se rompen á tronco por flexión y tensión, y en diagonal, astillándose, por torsión.

Hay otra variedad, el *mamey colorado*, árbol muy grande, de forma piramidal, cuya madera tiene iguales propiedades. Ambas abundan en Cuba, Santo Domingo y Puerto-Rico, vegetando en tierras francas y fuertes.

Mangle negro ó prieto *(Avicenia nitida)*.—Árbol de 10 metros; tronco de $0^m,50$; abunda en las costas. Madera pardo-amarillenta, de fibra ondulada, pesada, compacta, elástica, muy resistente dentro y fuera del agua; no la ataca el teredo; se aprecia mucho para pilotajes, obras hidráulicas, construcciones navales y para cualquiera otra aplicación, ya á la intemperie, ya debajo del agua, ya en terrenos húmedos. Se rompe casi á tronco por flexión y tensión, y en diagonal, astillándose, por torsión.

Mije ó mijí.—Árbol abundante; tronco de 5 metros de largo, por $0^m,20$ ó 0^m30 de diámetro. Madera de corazón, amarillo-agrisada, elástica, compacta, dura, sana, de fibra recta, fácil de trabajar y resistente á todo y en todos los medios. Se rompe en astillas por flexión, por descomposición ó segregación de fibras en la tensión, y á lo largo por torsión. Se puede emplear con ventaja en las construcciones, particularmente en puentes y armaduras.

Montecristo.—Madera inapreciable por sus excelentes cualidades; homogénea, de fibra reticulada, de color amarillo obscuro, sumamente elástica y resistente, en especial á la tensión. Muy buena para todo género de construcciones, para carretería y para ebanistería. Se rompe en astilla larga.

Moruro *(Acacia arborea)*.—Se llama también *sabicú*, por la analogía que tienen las dos especies. Árbol de gran tamaño; tronco de $0^m,60$ de diámetro. Madera de corazón fuerte, morado-obscura, elástica y resistente. Se rompe longitudinalmente. Se emplea en ruedas hidráulicas, mazas de trapiches, cubos de carros, tablas para pisos, etc., y se puede usar en todas las construcciones.

Naranjo agrio *(Citrum vulgaris)*.—Árbol que en seis ó siete años se eleva á 7 metros. Madera blanco-amarillenta, de fibra recta y unida, muy correosa, resistente y fácil de trabajar. Se rompe por flexión por algunas fibras de la parte convexa, por tensión á tronco, por torsión á lo largo. Se emplea en obras de carpintería y mangos de herramientas; puede aplicarse con preferencia á péndolas, varas de carruajes, etc.

Ocuje *(Calopyllum cataba)*.—Es del mismo género que el *palomaría* de Filipinas y la *maria* de Puerto-Rico. Árbol muy abundante en todos los terrenos; de 28 metros de alto y 1 de diámetro. Madera rojizo-amarillenta, de fibra algo ondulada, de bastante consistencia y no poca elasticidad; se rompe en diagonal corta, y se emplea en construcción naval y en piezas de armaduras; á la intemperie se altera fácilmente. El aceite que se saca del fruto sirve para la pintura y para la preparación de barnices grasos.

Pejojó ó lechoso *(¿Tabœrnemontana citrifolia?)*.—Árbol que se da en terrenos bajos y medianos. Madera amarillo-rojiza, toda de corazón, fuerte, compacta, de fibra algo ondulada y muy resistente á la presión y torsión; es excelente para las construcciones, para ebanistería y para carpintería. Se rompe á media madera.

El tronco y las ramas dan por incisiones una resina blanca.

Pino *(Pinus)*.—El *pino blanco* (pinus occidentalis) es poco resistente y no puede emplearse más que en pisos interiores; el *pinotea del país* (pinus tæda) es más resinoso y de mejores aplicaciones, pero se prefiere siempre el de igual nombre, procedente de Nueva-York. Este último tiene fibra más fina y es menos resinoso que el de

la tierra, admite bien la clavazón, y su uso en las construcciones está muy generalizado; se rompe en diagonal.

Hay otras especies de pinos, como el *sipré*, que es más blanco, fino y elástico; el de *Suecia*, mejor aún que el de los Estados-Unidos, y el *tea nudoso*, que sólo se emplea en soleras ó durmientes.

Quiebra-hacha ó caguairán *(Copaifera hymenœfolia)*.—Árbol muy común; tronco de 10 metros de altura, por $0^m,70$ á 1 metro de diámetro. Madera de corazón rojizo y albura blanco-amarillenta; de compacidad y dureza férreas; difícil de trabajar; pero muy resistente y la mejor madera para obras hidráulicas, porque se petrifica debajo del agua; es también excelente por su resistencia y duración para traviesas de caminos de hierro. Se rompe en diagonal larga por flexión y tensión.

Rana macho.—Madera homogénea, fuerte, cenicienta, de fibra recta, elástica, muy resistente en todos conceptos é incorruptible debajo del agua. Es de las mejores que se pueden emplear en cualquier género de construcciones. Se rompe en astilla larga.

Raspalenguas *(Casearia hirsuta)*.—Madera de excelentes condiciones; amarillo-clara, fuerte, compacta, muy elástica y resistente en todos sentidos, en especial á la presión y tensión. Se rompe en diagonal corta, y se puede usar con ventaja en piezas de puentes, máquinas hidráulicas y ejes de carruajes.

Roble *(Bygnonia pentaphylla)*.—Árbol de 9 á 11 metros; tronco de $0^m,80$ á 1 metro. Madera de tejido uniforme, ceniciento-amarillenta, de fibra recta, fácil de trabajar, muy elástica y resistente. Se emplea, por lo general, en construcciones urbanas y navales, siempre que no haya pasado mucho tiempo después de cortada, porque la ataca al momento un insecto. Se rompe en diagonal y astilla larga.

Roble guayo *(Boureria juculenta)*.—Madera muy parecida á la anterior, que tiene las mismas aplicaciones y que abunda bastante en toda la isla. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á tronco, astillándose, por torsión.

Semejantes á los robles descritos son el *prieto*, el *bombo*, el *blanco* y el *amarillo*: todos tienen analogía con las variedades del *capá* de Puerto-Rico.

Sabicú ó jigüe *(Acacia formosa)*.—Madera menos obscura que

la de moruro, pero que se parece mucho á ella; se emplea también en todo género de obras. Abunda en la isla.

Sabina *(Juniperus sabina)*.—Árbol parecido al ciprés, que tierra adentro se suele llamar *enebro criollo;* tiene de 12 á 15 metros de altura, y tronco de unos 0m,60 de diámetro. Madera rosada, fina, fácil de trabajar y de fibra recta. Se emplea, de ordinario, en pies derechos y entablonados; da buenos resultados debajo del agua, á causa de ser aceitosa; puede recomendarse su uso para todas las construcciones, en particular para las que requieran elasticidad; es excelente para traviesas de ferrocarriles. Se rompe á media madera por flexión, y á tronco por tensión y torsión.

Sigüe.—Árbol de unos 10 metros; tronco de 0m,30. Madera dura, compacta, toda de corazón, amarillo-rosada, de fibra recta, elástica y muy resistente á la presión. Se puede aplicar para pies derechos, vigas y soleras, y con especialidad para la ebanistería por su hermoso aspecto y por la finura de su tejido. Se rompe á media madera, astillándose.

Tamarindo *(Tamarindus indica)*.—Árbol hermoso y de larga vida, á pesar de la rapidez de su crecimiento; se da en todos los terrenos. Madera de corazón, bastante compacta y con vetas claras, que adquieren realce con el barniz. Se rompe en diagonal y se puede usar en todo género de construcciones, en especial en las que exijan elasticidad y resistencia á la tensión.

Ubilla ó ubero *(¿Cocolora ubifera?)*.—Árbol que abunda en las playas arenosas; tronco de 6 metros de altura por 0m,40 de diámetro. Madera amarillo-rojiza, fuerte, fina; fácil de trabajar, aunque toda de corazón; de fibra recta, y muy resistente, en particular á la presión y tensión. Se aplica á la construcción de pies derechos, ejes, mazas, etc., y á la ebanistería. Se rompe en diagonal por flexión y tensión, y á lo largo, astillándose, por torsión.

Yaití *(Execaria lucida)*.—Tronco de 5 metros de largo, por 0m,20 de diámetro. Madera amarilla con grandes manchas obscuras á lo largo, pesada, dura, muy elástica y resistente en todos sentidos, é incorruptible debajo del agua. Es sumamente útil en la industria y en todo género de construcciones; á tener el tronco mayores dimensiones sería la primera de todas las maderas, á pesar de ser algo difícil de labrar. Se rompe siempre casi á tronco.

Yamagua ó yamao *(Guarea trichilioide)*.—Árbol de 10 á 12 metros; tronco de 0m,40 á 0m,50. Madera homogénea, de fibra recta un poco reticulada, de color amarillo-rojizo y con manchas obscuras en la sección transversal. Es bastante elástica y resistente para poderse emplear muy bien en las construcciones, tanto más cuanto que nada sufre á la intemperie: se usa mucho para hacer marcos de puertas. Se da en toda clase de terrenos y se rompe á tronco, astillándose.

Zapote negro *(Diospyros laurifolia)*.—Árbol de 8 á 10 metros. Madera de fibra un poco ondulada, morado-obscura, compacta, pesada, elástica y muy resistente, sobre todo á la presión. Se rompe siempre á tronco, y puede emplearse en pies derechos, sopandas, puentes, ejes de carros, etc. Abunda en la mayor parte de los montes de la isla.

MADERAS USADAS EN PUERTO-RICO.

Respecto á las principales maderas usadas en la construcción en la isla de Puerto-Rico, se han consultado unos apuntes manuscritos, proporcionados por el Ingeniero Jefe del Cuerpo, D. Leonardo de Tejada, que por bastantes años estuvo al frente del servicio de Obras públicas en aquella provincia.

Abispillo.—Árbol que crece bastante; de madera resistente en obras interiores, pero que se altera expuesta á la intemperie; se emplea en tablazón y construcciones urbanas.

Algarrobo.—Árbol robusto y de mucho crecimiento; da madera dura, resistente y de aspecto agradable; se emplea en ebanistería, y para hacer canoas grandes de una sola pieza, mazas para trapiches, etc. Del algarrobo se saca una resina muy apreciada para la preparación de barnices y otros usos.

Almácigo.—Se emplea la madera en cuartones y tablazón, que duran mucho, no estando sometidos á los agentes externos.

Ausubo.—Árbol grandísimo y el que da la mejor madera para viguería; se conservan las piezas lo mismo en obras interiores que á la intemperie.

Bariaco.—Madera muy buena para estacadas, porque resiste expuesta al aire y debajo del agua.

Blanca.—Árbol de tronco delgado, pero que da madera resistente y adecuada para viguería, pies derechos, tablazón, etc.

Camacey de paloma.—Se pudre á la intemperie la madera, pero da buen resultado en soleras, carreras y otras piezas análogas en las construcciones urbanas.

Capá.—Existen dos especies, el *blanco* y el *prieto*, parecidos, como ya se dijo, á los robles de Cuba del género *boureria*. El capá blanco da piezas muy grandes y duras, con que se hacen cureñas y afustes; del prieto se sacan piezas, grandes también, pero no tan duras, que se utilizan en la construcción naval, y para vigas, puertas, ventanas, etc., en la civil.

Cedro.—Debe ser del mismo género y quizá especie, que el árbol de igual nombre de la isla de Cuba. Además de emplearse en ebanistería y para tablazón de barcos, se sacan de él botes y lanchas de una pieza, por la extraordinaria corpulencia del árbol.

Cuero de sapo.—Madera muy dura, pero que no resiste á la intemperie; se emplea en obras interiores, y por su agradable aspecto pudiera utilizarse en ebanistería.

Espinillo.—Se aplica esta madera, que resiste muy bien bajo el agua, pero que es muy dura y difícil de trabajar, á la construcción de piezas torneadas y á la de obras de grandes dimensiones y que requieran poca labra, como pies derechos, cuartones, pilotes, estacas, etc.

Guaraguao.—Árbol de buen crecimiento; la madera es vidriosa, pero se emplea con ventaja en entablonados, cuartones, canoas, muebles, etc.

Guayacán.—Debe ser la madera que con el mismo nombre y también con el de palo santo, se conoce en Cuba; es tan dura que sólo puede trabajarse con la sierra y con el torno. Aparte de emplearse para muchos objetos de industria y para muebles, suele utilizarse, como se indicó antes, para la construcción de piezas resistentes de las máquinas.

Higuerillo.—Árbol grande; su madera resiste á la intemperie y al agua; se emplea para pies derechos, cuartones y tablazón.

Hortegón.—Madera de corazón, muy compacta y dura, de gran resistencia á la presión y poca á la flexión; se conserva bien debajo del agua, y da piezas de extraordinarias dimensiones. Es la madera preferida para pies derechos, y se usa también mucho para pilotajes y estacadas; para construcciones marítimas es irreemplazable.

Húcaro ó húcar.—Es el mismo árbol que se llama en Cuba júcaro negro ó bravo. No hay que añadir nada á lo que se ha dicho ya acerca de esta excelente madera.

Jagua.—Árbol de mucho crecimiento; madera á propósito para cajas de armas de fuego y para esculturas, por ser compacta y poco fibrosa; sirve también para tablazones interiores.

Jagüey.—Quizá sea una nueva especie ó variedad del árbol del mismo nombre, que vegeta en Cuba y de que ya se ha hablado. De su madera se sacan canoas y bateas de una pieza.

Laurel.—Árbol que da buena tablazón, cuartones, vigas, perchas de arboladuras, etc. El laurel de Puerto-Rico es diferente del que lleva el mismo nombre en España.

Limoncillo.—Árbol grande que da madera muy dura, adecuada para dientes de trapiches; se sacan también vigas, cuartones, etc., que duran muchísimo, preservándolos de la intemperie. El limoncillo produce buen carbón.

Maga.—Madera incorruptible, cuando está enterrada; se emplea para tablazón, cuartones, muebles de lujo, etc.

Majagua.—La *majagua* de Puerto-Rico no es igual á la de Cuba; esta es la *paritium elatum* y aquella la *hibiscus tiliaceus*, idéntica al *balibago* de Filipinas. La majagua portorriqueña se parece mucho, sin embargo, á la cubana; es ligera y correosa y se emplea para garrochas. Con las fibras del líber se hacen las cuerdas del país, que sirven para fabricar hamacas y otros objetos. Las majaguas se utilizan también en las cercas de las casas de campo, por lo mucho que se entretejen las ramas de estos árboles.

Mamey.—Es idéntico al de la isla de Cuba ya descrito.

Mangle colorado.—Árbol que crece en las costas; la madera da piezas curvas para embarcaciones y se emplea también en estacadas y otras construcciones hidráulicas; la corteza y las hojas son muy ricas en tanino. Este árbol se da asimismo en Cuba; no se describió, sin embargo, entre las maderas de dicha isla, porque las pequeñas dimensiones, que en general tienen las piezas, restringen mucho sus aplicaciones.

María.—Es el ocuje de Cuba. En Puerto-Rico se emplea prin-

cipalmente para entablonados en construcciones civiles y navales.

Moral.—De su madera se hace alguna tablazón, pero es mejor para remos, porque tiene las propiedades de ser ligera, correosa y elástica.

Naranjo.—Es idéntico al de España; la madera es dura y se emplea en mangos de herramientas y en piezas torneadas.

Palmas.—Bajo esta denominación general se comprenden muchos astiles de vegetales monocotiledones. De la envuelta externa de la palma de cocotero se sacan piezas largas y estrechas, que duran muchos años en revestimientos y pisos de barracas; de la palma de *yagua* se desprende todos los meses un fragmento de hoja acorchada, que recibe también aquel nombre, que tiene de $1^{m},20$ á $1^{m},50$ de longitud, por $0^{m},45$ á $0^{m},60$ de ancho, y que es muy á propósito para cubiertas y paredes de barracas y otras construcciones provisionales.

Pimiento negro.—Árbol grande, de madera muy dura y que resiste bien á la intemperie y debajo del agua; se emplea en pilotajes, en edificaciones urbanas y en postes de telégrafo.

Roble cimarrón.—Árbol de buen crecimiento, que da madera excelente para tablazón, cuartones y otras piezas necesarias para construcción de casas; es de poca duración á la intemperie. Es probable que este roble sea parecido á los de Cuba.

Serrezuelo.—Árbol grande, de madera muy dura, que se emplea para tablas y barandas en la edificación urbana; se podría usar también para muebles de lujo, por la hermosa coloración de sus vetas.

Tachuelo.—Árbol de bastante altura y poco grueso; su madera dura muchísimo á la intemperie y debajo del agua; se emplea en pilotajes, estacadas, pies derechos, vigas, serradizos y postes telegráficos.

Tortugo.—Árbol de extraordinario crecimiento; su madera se usa para tablazón, pies derechos y viguería; se conserva perfectamente bajo el agua y al aire. La madera tiene colores muy variados y es muy á propósito para trabajos de ebanistería.

Yaití.—Árbol delgado y alto; su madera es en extremo resistente, sean cuales fueren las circunstancias en que se ponga en obra; se emplea en especial para muebles de lujo. El yaití de Puerto-Rico debe ser muy parecido, si no igual, al de Cuba.

Yaya.—Árbol que crece mucho; la madera se puede usar en obras interiores, pero al exterior se pudre pronto, como no se tenga la precaución de tenerla sumergida en agua algún tiempo para que desaparezcan las substancias putrefactivas; esta circunstancia no es peculiar de esta madera, como más adelante se verá.

MADERAS USADAS EN FILIPINAS.

Para la descripción de las maderas de construcción usadas en Filipinas, se tienen más datos que para las de Puerto-Rico, pues los trabajos del Coronel de Ingenieros D. Nicolás Valdés y los más modernos de los Ingenieros de Montes, D. Ramón Jordana y D. Sebastián Vidal, resumidos estos últimos en la obra de D. Eugenio Plá, permiten conocer con bastante exactitud los árboles maderables del archipiélago: sólo se citarán aquí los que tienen alguna importancia.

Acle ó acre *(Mimosa acle ó acre)*.—Árbol de gran tamaño: madera rojo-obscura, sin olor sensible, compacta, de pocos poros, de fibra ondulada, que se rompe en astilla larga (1), y de viruta áspera y poco enroscada. Se emplea en construcción civil y naval y abunda en muchos puntos.

Amuguís ó amoguís *(Cyrtocarpa quinquestila)*.—Madera de color rojo claro á rojo de carne, uniforme ó con manchas plomizas; textura medianamente compacta, con poros numerosos de diferentes tamaños; se rompe en astilla larga. La madera recién labrada tiene un olor desagradable; da buena tablazón para construcciones; se la apreciaría más si no fuese tan propensa á que la ataque el *anay* (2). Abunda en muchos puntos.

Antipolo *(Artocarpus incisa)*.—Árbol que se eleva á más de 20 metros; madera amarillenta con frecuentes manchas blanquecinas; de textura estoposa y poros muy marcados; se rompe en astilla larga. Se usa para tablazón en edificios y embarcaciones menores, y algo en ebanistería; no es muy apreciada.

Balao, panao ó malapaho *(Dipterocarpus vernicifluus)*.—Este árbol produce la resina llamada *balao* ó *malapaho*, fluida y olo-

(1) La manera de romperse, cuando no se diga nada en contrario, se refiere á esfuerzos de flexión.

(2) El *anay* es el comején de Cuba.

rosa, que se emplea para barnices, para preservar á las maderas del anay y para otros usos. La madera es blanco-amarillenta ó ceniciento-verdosa con manchas cenicientas, aunque también hay variedades rojizo-claras ó amarillento-rojizas; la textura es variable, algo compacta y fibrosa, y se rompe unas veces á lo largo y otras en astilla corta. Se usa bastante en construcción civil y algo menos en la naval, haciéndose de ella canoas. El balao es frecuente en Mindoro, Tayabas, Bataán, Visayas, etc.

Balibago *(Hibiscus tiliaceus)*.—Es la majagua de Puerto-Rico; la altura del arbolito no llega á $5^m,40$. De las fibras del liber se hacen cuerdas y papel; la madera puede usarse para piezas de máquinas, y da un carbón á propósito para emplearlo en la fabricación de pólvora.

Banaba *(Lagerstrœmia speciosa)*.—Se conocen dos variedades, la *roja* y la *ordinaria ó blanca*; el árbol tiene de 10 á 12 metros de altura. Madera tenaz, que resiste bien á la intemperie y debajo del agua, y que se aprecia para toda clase de obras. La primera variedad es de color blanco-rojo ó rojo apagado, de poros que parecen á veces grietecillas; se rompe en astilla corta y la viruta es áspera, poco enroscada y porosa; es la variedad que se prefiere en construcciones civiles y para forros de barcos en las navales. La banaba blanca es de textura más basta que la roja y de cualidades inferiores. Ambas variedades, y en particular la última, abundan mucho en las islas.

Bancal ó bangcal *(Nauclea glaberrima)*.—Árbol de 8 á 10 metros; tronco que llega á $0^m,70$ de diámetro. Madera amarilla de oro ó amarillo-verdosa, de fibra alargada y textura algo estoposa; se aprecia por su tenacidad y dureza para la construcción de armaduras y pisos, aunque su principal aplicación es para hacer embarcaciones pequeñas ó *bancas*. Abunda en el centro y sur de Luzón.

Bansalagui.—La madera de este árbol de primera magnitud, tiene cada día más aceptación en construcción civil para tirantes y piezas que exijan mucha resistencia y elasticidad; es de color blanco-rosado con manchas cenicientas, ó rojo claro uniforme; de textura compacta, con poros pequeños; fibrosa y que se rompe en astilla larga. El bansalagui de superior calidad procede de Tayabas.

Baticulín ó baticuling *(Millingtonia quadripinnata)*.—Tronco de 6 á 8 metros de alto y $0^m,40$ de diámetro. Madera blanco-amarillenta ó amarillo-verdosa, de textura bastante floja, con muchos poros; es de fácil labra y susceptible de buen pulimento; se emplea mucho en construcción civil como madera de sierra, utilizándose también para moldes de fundir y trabajos de escultura. Abunda en las islas de Luzón, Mindoro y Visayas, y se conocen muchas variedades como las llamadas *dajon*, *surusuru*, etc.

Batitinan.—Madera rojo-cenicienta ó pardo-aceitunada, muy compacta, que se usa bastante en construcción naval y algo en la civil. Se extrae de los montes de Tayabas.

Betis *(Azaola betis)*.—La madera de esta especie, cuando se consiguen piezas de buenas dimensiones, es irreemplazable para quillas. Es de color rojo tostado ó rojo morado con vetas más claras, de textura compacta, vidriosa y se rompe á tronco.

Bolongita, bolongeta ó bolongaeta *(Diospyros pilosanthera)*.—Madera rojo-clara ú obscura con manchas negras, de textura compacta, de viruta fina, correosa y ondeada; se rompe en astilla corta. Empléase algo en construcción, pero sobre todo en ebanistería.

Calantás ó cedro de Filipinas *(Cedrela odorata)*.—Es el mismo cedro de que se ha hablado entre las maderas cubanas. Se usa en construcción de canoas y para cajones finos y envases de tabacos de clases superiores. Abunda en Panay, Mindoro, Zambales, etc.

Camagón *(¿Diospyros discolor?)*—Árbol cuya preciosa madera negra con vetas estrechas, pardas ó rojo-amarillentas, y manchas negras, se emplea con preferencia para construir muebles finos. Adquiere hermoso pulimento y se suele confundir con el *luyong* ó ébano. El camagón se presenta aislado en rodales de otra especie.

Camuning *(Connarus santaloides)*.—Madera amarilla de oro uniforme ó con vetas onduladas y manchas pardas. Se pulimenta perfectamente, y se emplea, como la anterior, en muebles finos; á pesar de su dureza y resistencia no se usa en construcción por las escasas dimensiones del árbol, pues no pasa de 5 metros.

Caña espina *(Bambus arundo)*.—Las *cañas* tienen de $0^m,07$ á $0^m,25$ de diámetro, y de 6 á 15 metros de altura; se emplean en andamios, casas, puentes, cuerdas de mucha resistencia y otra porción de aplicaciones menos interesantes para el Ingeniero. Al abrigo

de la intemperie son incorruptibles; bajo tierra y aun en el fango, duran muchos años.

Cubí.—Madera amarillento-pardusca, con reflejos verdosos; de textura algo compacta y poros poco numerosos, pero pequeños y distribuídos con uniformidad. Se emplea en construcción como madera de hilo, y se le atribuye mucha duración; abunda en Visayas.

Dungon, dongon ó dúngol *(Sterculia cymbiformis)*.—Árbol de primera magnitud: madera rojo-morada, de olor de cuero curtido, textura compacta, fibras comprimidas y entrelazadas, y poco porosa; se rompe á tronco y á hilo, y da una viruta unida, áspera y poco enroscada. Aunque la labra es difícil, como la madera tiene gran duración, se usa mucho en construcción civil y naval, para pies derechos, vigas, largueros, tirantes, quillas, baos, etc. Abunda en todo el Archipiélago, sobre todo en el centro y sur de Luzón.

Ébano ó luyong *(Diospyros nigra)*.—Es una de las especies de ébano de que se habló al tratar de las maderas exóticas. Se emplea en la construcción de muebles finos, y el carbón que produce es muy á propósito para pólvora.

Guijo, guiso ó guísoc *(Dipterocarpus guiso)*.—Madera rojizo-clara ó rojo-cenicienta, de poros numerosos y marcados, de fibra fuerte, correosa y ondulada; sus diversas variedades se aprecian mucho en las construcciones y en carretería. Abunda en casi todas las islas, y en algunas se encuentran árboles colosales de esta especie.

Ípil *(Eperua decandra)*.—Árbol de primer orden: madera rojo-obscura ó amarilla de ocre, que se ennegrece con el tiempo; de olor grato, pero poco pronunciado; de textura fuerte, fibra transversal y comprimida, y poros alargados y muy visibles; se rompe en astilla corta y da una viruta áspera y enroscada. Es madera muy apreciada para viguería y toda clase de construcciones civiles y navales; se exporta en tablas á los mercados de Hong-Kong y Shangai. Se encuentra en muchos montes, pero la mejor se extrae de Masbate y Tayabas.

Lanete ó laniti *(Anasser laniti)*.—Madera fina, blanca, de textura suave y poros imperceptibles, que se emplea para construir sillas y muebles comunes. Se halla en Bataán, Cavite, Tayabas, La Laguna y Pangasinán.

Lanután *(Unona latifolia)*.—Madera blanco-rojiza ó rojo-clara,

con visos amarillentos; de textura fina, con vasos pequeños y fibras rectas. Se emplea algo como madera de sierra, pero su principal aplicación es para construir muebles ordinarios. Abunda en las Visayas, Luzón, Mindoro y otras islas.

Lauán ó saudana *(Mocanera thurifera)*.—Árbol de 15 á 30 metros de altura y tronco de más de un metro de diámetro, del cual, por incisiones, se extrae una gomorresina olorosa, que sirve como incienso. Madera blanco-rojiza ó cenicienta, con manchas pardas y textura estoposa; apenas se usa más que para construir canoas ó bancas; las bordas de los galeones antiguos se hacían de esta madera, porque las balas no la astillan. Es común en muchos puntos, sobre todo en Luzón.

Malabonga *(Laurus hexandra)*.—Árbol de segunda magnitud: madera rojo-clara, con visos anaranjados y á veces con vetas plomizas; de fibra aplastada y de poca duración; la atacan los insectos, en especial el anay; se emplea en la construcción de cajones ordinarios. Abunda en Morong, La Laguna, Bataán, Nueva-Écija, etc.

Malatapay, mabolo ó malacapay *(Diospyros embriopteris)*.—Madera amarillenta con manchas pardo-negruzcas, que se hacen negras con el tiempo; pertenece al mismo género que el ébano, y se emplea también en la construcción de muebles de lujo. Las piezas son pequeñas, porque el árbol es de poco crecimiento.

Malatumbaga ó hinstótoor *(Crudya spicata)*.—Madera de color rojo de carne á rojo de ladrillo; da tablas de buenas dimensiones, que se usan principalmente en edificaciones urbanas y para hacer cajones ordinarios. Es de textura compacta y fácil labra; se encuentra al sur de Luzón y en otras varias islas.

Mangachapuy, mangachapoy ó guison-dilao *(Dipterocarpus mangachapoi)*.—Árbol que llega á 20 metros de altura; tronco de $0^{m},60$ á $0^{m},80$ de diámetro. Madera amarillo-cenicienta ó de tintes rojizos, según se considere la variedad *blanca* ó la *colorada;* de textura compacta, vidriosa, de fibras comprimidas; se rompe á tronco ó en astilla larga, y da una viruta algo áspera y poco enroscada. Se sacan hermosos tablones, que se usan en la construcción naval. Abunda en Angat, San Mateo y Bataán.

Molave *(Vitex geniculata)*.—La madera de este árbol, que alcanza 20 metros de altura por $0^{m},60$ de diámetro, es amarilla, ama-

rillo-verdosa ó cenicienta; de textura compacta, fina y homogénea y de fibra comprimida; á veces despide un olor ácido, tiene un sabor algo amargo y tiñe de amarillo al agua; se rompe en astilla corta y da una viruta muy fina, compacta, correosa y enroscada. Es la madera que se prefiere en construcción, y antes se creía que era irreemplazable; resiste lo mismo á la intemperie, que en obras sumergidas, que empotrada en fábricas, si bien comunica á los morteros su color amarillo; la madera de molave se tiene por la reina de las de Filipinas, pues además de todas las propiedades enumeradas, posee la de no atacarla el anay. Es frecuente en todo el Archipiélago, exceptuando algunas provincias del centro y norte de Luzón; pero el gran consumo que se hace disminuye las existencias en las localidades en que es fácil su extracción.

Narra ó naga *(Pterocarpus santalinus)*.—Madera roja, de textura sólida, muy vidriosa, susceptible de hermoso pulimento, y de olor agradable. Abunda en todas las islas, y de esta madera se construyen la mayor parte de los muebles de lujo.

La *narra blanca ó amarilla, naga, asana ó agana*, se considera por algunos como una variedad de la precedente, y por otros como una nueva especie *(pterocarpus pallidus)*. La madera es de color amarillo de ocre con vetas pardas, que se obscurecen con el tiempo; la textura es fina y los poros están menos marcados que en la narra anterior; se emplea en muebles ordinarios.

Palma brava ó anahao *(coripha minor)*.—Los astiles de monocotiledones los emplean los indígenas para pies derechos *(harigues)* de sus viviendas, porque, por lo general, resisten bien á la humedad. La palma más importante es la llamada *brava*, que se eleva, como la del cocotero, hasta 20 y 25 metros de altura; el astil es negro y muy recto; la parte cortical, pues la médula no puede aprovecharse por ser demasiado blanda, presenta gran dureza y es casi incorruptible debajo del agua, enterrada ó á la intemperie. Se usa con ventaja para pilotes y postes telegráficos.

Palo-maría, dancalán, bitanjol ó bitanhol *(Callophyllum inophyllum)*.—Pertenece á la misma especie que el ocuje cubano y la maría portorriqueña. Madera rojo-clara, de textura fibrosa, de poros grandes y prolongados; se rompe á media madera en astilla larga, y produce una viruta áspera y muy enroscada. Se usa con preferencia para arboladuras de embarcaciones; en la construcción civil se debe evitar que esté en contacto con cal, porque así es de poca duración; la variedad rojiza es más estimada que la blanca. Abunda en todas las islas.

Supa *(Dipterocarpus)*.—El árbol alcanza grandes dimensiones, y su madera es de color amarillo de ocre sucio, que se hace con el tiempo pardo amarillento, presentando á veces tintas rojas. Se parece mucho á la madera de ípil y la sustituye en construcciones civiles y navales, aunque es mucho menos estimada. Se distinguen ambas maderas, en que la de ípil tiene los poros repartidos con regularidad en todo el espesor del anillo; en que los radios medulares son más finos y aparentes en la supa, y en que ésta suele estar surcada por vetas estrechas pardo-obscuras, mientras que el ípil es, de ordinario, de coloración uniforme. Abunda en el centro y sur de Luzón y en Visayas.

Tangile ó tangili *(Dipterocarpus polyspermus)*.—Madera de color rojo tostado, de textura bastante fina, con vasos grandes y numerosos; se rompe á tronco. Se aplica mucho á la construcción de canoas, y también como madera de sierra á la de cajones y algo á la edificación urbana. Es común en los montes de casi todo el Archipiélago, en especial en los del centro y sur de Luzón.

Teca *(Tectona grandis)*.—Esta especie, de que se ha hablado ya entre las maderas exóticas que se usan en Europa, tiene las mismas condiciones técnicas y valor industrial que la procedente de la India. Se encuentra, según el P. Blanco, en algunos montes de Visayas, Mindanao, Zambales, etc.

Tíndalo ó balayón *(Eperua rhomboidea)*.—Madera de color rojo claro de siena, que llega á ser con el tiempo casi negra, presentándose á veces con coloración uniforme y otras con vetas más obscuras; de textura sólida y compacta y de fibras atravesadas diagonalmente; se rompe casi á tronco, en dirección de éstas, y también en astilla corta, dando una viruta áspera, muy porosa y no enroscada. Se usa en ebanistería para muebles finos; en construcción civil se emplea poco por la dificultad de sacar piezas de dimensiones á propósito. El tíndalo se encuentra accidentalmente en muchos montes del Archipiélago, como en los de Tayabas.

Yacal ó saplungán *(Dipterocarpus plagatus)*.—Árbol de 12

á 20 metros de altura, tronco de $0^{m},80$ de diámetro. Madera amarillo-terrosa, de textura sólida y fina; se rompe en astilla larga y da una viruta suave, compacta y enroscada. Se usa en la construcción civil para pares de armaduras y en la naval para quillas y codastes. Es una de las maderas más pesadas y resistentes de Filipinas, y abunda en casi todas las provincias de Luzón.

DENSIDAD Y RESISTENCIA DE LAS MADERAS.

Observaciones.—La densidad y resistencia de las maderas varían de un modo notable, no sólo de un ejemplar á otro de la propia especie, según las condiciones fisiológicas del árbol, el terreno y clima en que ha crecido, la época en que se ha apeado, etc., sino para una misma pieza, según que haya transcurrido más ó menos tiempo desde que se cortó, que esté en un grado mayor ó menor de sequedad, que se ensaye total ó parcialmente limpia de albura, etc. Así se explican las diferencias, enormes á veces, que se advierten entre los guarismos consignados para una especie arbórea cualquiera por diversos experimentadores, por grandes que sean la exactitud y esmero con que hayan procedido en las operaciones. Al acompañar á continuación una tabla bastante completa de la densidad y resistencias á la compresión, á la tensión, á la flexión y á la torsión de las maderas más usadas en España y sus colonias, es indispensable, por las razones que preceden, decir el origen de los experimentos. Por más que algo se haya variado la forma, la tabla comprende, con ligeras modificaciones, las publicadas por el Coronel Valdés en su *Manual del Ingeniero*, que se han preferido á las de otros autores, por la circunstancia de que todos los ensayos de maderas de Cuba y Filipinas y muchos de los referentes á las europeas, se practicaron por el mismo Valdés, empleando para los últimos, ejemplares propios de España, lo que da más garantías de poder usar en las aplicaciones los números deducidos. Hay que hacer, sin embargo, las advertencias siguientes: 1.ª En la tabla constan algunas especies que no figuran en las que han servido de base; los números correspondientes á ellas se han tomado de varias obras, entre las que conviene citar las de Debauve y Plá. 2.ª No parece que se hayan hecho ensayos de resis-

tencia de las maderas de Puerto-Rico, aparte de los consignados en un manuscrito que se ha tenido á la vista, pero que no se incluyen en la tabla, tanto porque aquellos se refieren sólo á la flexión, cuanto porque son muy incompletos y hasta se ignora quién los verificó, y por tanto, el valor que se les pueda atribuir. 3.ª Para densidades de las maderas filipinas se han admitido las deducidas en época reciente por otro Coronel del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, D. Tomás Cortés. Y 4.ª No se han podido resumir los trabajos hechos por el mismo acerca de resistencia, porque no se han publicado, y no son suficientes para conocerlos los resultados relativos á la flexión que se citan en la obra de D. Eugenio Plá y en la *Memoria* de D. Sebastián Vidal.

En cuanto á la manera de hacer los diversos ensayos, no hay nada que decir, pues se suponen perfectamente conocidos los métodos, por los cursos de Física y de Mecánica aplicada á las construcciones; por lo demás, el Sr. Valdés explica con detalle, en su *Manual*, cómo ha determinado los números que miden las resistencias.

Tabla de las densidades y resistencias de las maderas más importantes que se usan en España, las Antillas y Filipinas.

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
PRINCIPALES MADERAS USADAS EN ESPAÑA.							
Abedul	0,64	»	»	1.000	0,0008	100.000	»
Abeto	0,56	500	»	857	0,0009	111.300	»
Acacia	0,80	»	»	1.160	0,0012	125.000	»
Álamo blanco	0,53	218 á 360	»	500	0,0009	51.200	»
Albaricoquero	0,77	»	»	»	»	»	»
Alcornoque	0,24 (1)	»	»	»	»	»	»
Alerce	0 57	»	»	640	0,0010	90.000	»
Algarrobo	0,62	»	»	1.400	»	»	»
Aliso	0,54	»	»	1.000	0,0010	110.800	»
Almendro	1,10	»	»	»	»	»	»
Arce	0,66 á 0,75	»	»	1.332	0,0011	102.100	»
Avellano	0,99	»	»	1.120	»	»	»
Boj	1,33	»	»	600 á 1.100	»	»	»
Caoba	0,56 á 0,85	»	»	»	»	»	»

(1) Es la densidad de la corteza.

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Carpe	0,82	»	»	1.150	0,0012	108.600	»
Castaño	0,87 á 1,10	»	»	600 á 1.300	»	»	»
Cedro del Líbano	0,60	»	»	820	»	90.000	»
Cerezo	0,72	»	»	400	»	»	»
Ciprés	0,64	»	»	430	»	»	»
Ciruelo	0,79	»	»	850	»	»	»
Ébano	1,14	»	»	»	»	»	»
Encina de España, verde	1,14	380	»	800			
Encina de España, ordinaria	1,14	390	»	800	0,0012	92.000	»
Encina de España, seca	0,86	400	»	700			
Eucalipto	1,00	»	»	»	»	»	»
Fresno	0,75 á 0,84	»	»	800 á 1.200	0,0011	112.000	»
Haya	0,85	543 á 658	»	800 á 1.000	0,0012	98.000	»
Laurel	0 82	»	»	»	»	»	»
Limón	0,60	»	»	660	»	»	»
Manzano	0,73	»	»	700	»	»	»
Mimbre	0,54	»	»	1.000	»	»	»
Naranjo	0,71	»	»	1.100	»	»	»
Nogal de España	0,66	200	453	980	0,0019	26.000	372
Idem de Bélgica	0,59	150	350	980	0,0016	31.250	205
Olivo	0,91	»	»	»	»	»	»
Olmo	0,54 á 0,80	726	»	900 á 1.000	0,0012	97.000	»
Peral	0,60	»	»	600 á 690	»	»	»

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN.		TENSIÓN.	FLEXIÓN.		TORSIÓN.
		Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado — *Kilogramos.*
Pinabete	0,56	118	»	930	»	»	»
Pino silvestre	0,66	500	»	900	0,0014	56.620	»
Idem piñonero ó blanco	0,54	450	»	800	0,0011	150.000	»
Pinsapo	0,50	»	»	»	»	»	»
Plátano oriental	0,65	»	»	»	»	»	»
Idem occidental	»	»	»	840	»	»	»
Roble común	0,93	400	»	600 á 800	0,0017	120.000	»
Idem inglés	»	455 á 706	»	1.300	»	»	»
Sauce	0,58	»	»	790	»	»	»
Serbal	0,91	»	»	900	»	»	»
Sicomoro ó arce grande	0,64	»	»	930	0,0010	116.380	»
Teca de la India	0,75 á 0,87	»	»	1.400	»	»	»
Tejo	0,80	»	»	580	»	»	»
Tilo	0,60	»	»	»	»	»	»
PRINCIPALES MADERAS USADAS EN CUBA.							
Ácana	1,28	380	550	784	0,0008	100.800	270
Aguacatillo	1,14	350	530	1.740	0,0011	164.500	254
Arriero	0,92	550	640	1.500	0,0010	148.800	317
Ayua	0,72	400	600	1.240	0,0009	140.200	190
Azulejo	0,92	640	620	1.920	0,0012	156.300	370

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN.		TENSIÓN.	FLEXIÓN.		TORSIÓN.
		Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Baria blanca	0,78	500	430	1,580	0,0009	183.800	144
Idem prieta	0,58	230	462	696	0,0006	120.200	176
Birigí	0,95	370	650	1.400	0,0008	173.600	250
Canelilla	0,71	340	510	1.400	0,0011	125.000	252
Caoba	0,85	440	442	850	0,0006	135.900	180
Capá-rota	0,80	380	660	1.424	0,0014	104.200	370
Carbonero	0,82	350	660	1.030	0,0008	125.000	254
Cedro	0,45	115	527	690	0,0008	82.200	194
Idem hembra	0,38	150	290	600	0,0007	78.100	190
Cerillo	0,94	450	700	1.480	0,0013	111.600	340
Cuajaní	0,80	450	550	800	0,0005	156.200	254
Cuero duro	1,02	580	612	2.266	0,0006	390.600	311
Chicharrón	0,95	360	550	1.420	0,0008	183.800	250
Dagame	0,90	550	700	1.700	0,0009	183.800	386
Ébano real	1,18	600	910	820	0,0005	164.400	320
Idem blanco	»	550	620	1.100	0,0005	208.300	311
Idem carbonero	1,17	700	710	1.000	0,0006	156.300	254
Idem mulato	1,25	850	810	1.100	0,0006	195.300	428
Granadillo	1,32	680	1.010	320	0,0002	164.400	546
Guamá de costa	1,14	460	660	1.080	0,0009	107.800	297
Guayacán	1,02	550	900	720	0,0010	69.400	380
Guayraje	1,02	600	690	1.580	0,0011	112.000	370
Jagüey	1,23	650	830	1.000	0,0008	125.000	428

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Jaimiquí	0,95	450	540	1.330	0,0013	104.200	312
Jiquí de ley	1,20	580	873	1.023	0,0008	120.200	305
Júcaro negro	1,14	470	840	2.180	0,0012	173.600	315
Leviza	1,00	450	630	1.740	0,0008	208.300	290
Lino	0,80	650	530	1.260	0,0012	104.200	310
Lirio morado	0,86	460	500	1.660	0,0013	130.200	230
Maboa blanca	0,87	550	500	1.340	0,0010	130.200	260
Macurije	0,85	453	480	1.100	0,0009	125.000	311
Majagua	0,74	580	603	2.151	0,0012	173.600	214
Idem blanca	0,59	250	440	694	0,0005	130.200	194
Mamey	1,19	490	630	1.103	0,0012	94.700	312
Mangle colorado	1,15	570	870	2.140	0,0010	208.300	340
Idem negro	1,19	490	630	1.103	0,0012	94.700	312
Mije	0,93	650	600	1.500	0,0010	148.800	290
Montecristo	0,80	400	504	2.280	0,0016	142.000	213
Moruro	1,06	400	500	1.850	0,0009	195.400	229
Naranjo agrio	0,90	500	500	1.740	0,0017	104.200	320
Ocuje	0,77	250	390	809	0,0008	104.200	226
Pejojó	0,04	430	670	1.480	0,0019	78.400	370
Pino blanco	0,48	280	370	960	0,0012	78.100	130
Idem tea del país	0,74	320	500	1.028	0,0009	120.200	181
Idem id. de los Estados-Unidos	0,74	370	500	1.420	0,0008	135.900	254
Idem id. id. id. nudoso	0,75	320	470	243	0,0002	97.700	165

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Quiebra-hacha	1,27	710	910	2.440	0,0016	156.300	286
Rana macho	0,98	550	630	2.420	0,0010	240.400	342
Raspalenguas	0,95	560	650	1.520	0,0012	130.300	490
Roble	0,90	360	530	1.200	0,0014	86.800	131
Idem guayo	0,79	600	540	1.160	0,0015	78.400	300
Sabicú	0,90	660	712	1.353	0,0013	104.200	312
Sabina	0,55	170	440	840	0,0010	86.800	317
Sigüe	0,94	520	650	1.320	0,0008	156.300	290
Tamarindo	0,93	600	450	1.400	0,0009	148.800	254
Ubilla	0,92	250	600	1.340	0,0008	173.600	360
Yaití	1,24	700	872	2.540	0,0016	156.300	386
Yamagua	0,70	400	460	1.300	0,0012	104.200	190
Zapote	1,13	596	672	1.454	0,0010	142.000	254
PRINCIPALES MADERAS USADAS EN PUERTO-RICO.							
Abispillo	0,73	»	»	»	»	»	»
Algarrobo	1,06	»	»	»	»	»	»
Ausubo	1,09	»	»	»	»	»	»
Capá blanco	0,89	»	»	»	»	»	»
Idem prieto	0,70	»	»	»	»	»	»
Cedro macho	0,89	»	»	»	»	»	»

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Cuero de sapo	0,89	»	»	»	»	»	»
Espinillo	1,10	»	»	»		»	»
Guaraguao	0,69	»	»	»	»	»	»
Guayacán	1,16	»	»	»	»	»	»
Higüerillo	0,66	»	»	»	»	»	»
Hortegón	1,25	»	»	»	»	»	»
Húcar	1,06	»	»	»	»	»	»
Idem amarillo	1,07	»	»	»	»	»	»
Idem colorado	0,93	»	»	»	»	»	»
Jagua	0,80	»	»	»	»	»	»
Laurel amarillo	0,96	»	»	»	»	»	»
Idem prieto	0,84	»	»	»	»	»	»
Limoncillo	1,20	»	»	»	»	»	»
Mamey	1,19 (1)	»	»	»	»	»	»
Mangle colorado	1,15 (1)	»	»	»	»	»	»
María	0,91	»	»	»	»	»	»
Moral	0,57	»	»	»	»	»	»
Naranjo	0,48	»	»	»	»	»	»
Pimiento negro	1,02	»	»	»	»	»	»
Roble cimarrón	0,85	»	»	»	»	»	»
Tachuelo blanco	1,12	»	»	»	»	»	»

(1) Á estas especies se les asigna la misma densidad que á las correspondientes de la isla de Cuba, por no poseer datos especiales.

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN. Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	COMPRESIÓN. Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TENSIÓN. Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	FLEXIÓN. Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	FLEXIÓN. Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	TORSIÓN. Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Tortugo amarillo	1,03	»	»	»	»	»	»
Idem prieto	1,25	»	»	»	»	»	»
Yaiti negro	0,94	»	»	»	»	»	»
Yaya	0,74	»	»	»	»	»	»
PRINCIPALES MADERAS USADAS EN FILIPINAS.							
Acle	0,709	340	498	490	0,0040	49.130	140
Amuguís	0,538	220	338	572	0,0040	56.362	165
Antipolo	0,593	70	286	564	0,0007	78.608	115
Balao	0,393	146	393	800	0,0009	90.000	102
Balibago	0,46	200	646	1.180	0,0011	108.000	165
Banaba	0,776	126	348	904	0,0008	112.300	166
Bancal	0,521	66	220	470	0,0007	65.500	76
Bansalagui	0,676	»	»	»	»	»	»
Baticulín	0,50	»	»	»	»	»	»
Betis	0,719	»	»	»	»	»	»
Bolongita	0,789	120	360	858	0,0011	78.600	153
Calantás	0,563	60	470	517	0,0007	78.600	108
Camagón	1,153	340	558	752	0,0011	71.472	172
Caña espina	0,6	»	»	»	»	»	»
Dungon	0,833	200	435	658	0,0011	60.468	140

ESPECIES ARBÓREAS.	Densidad de la madera secada al aire.	COMPRESIÓN.		TENSIÓN.	FLEXIÓN.		TORSIÓN.
		Resistencia normal á las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia en sentido de las fibras, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Resistencia á la tensión ó coeficiente de cohesión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Flexión máxima á que se pueden someter las piezas en las construcciones.	Coeficiente ó módulo de elasticidad, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*	Coeficiente de rotura ó máxima torsión, por centímetro cuadrado. — *Kilogramos.*
Ébano	1,153	470	688	1.122	0,0012	97.400	144
Guijo	0,685	140	370	720	0,0012	60.000	190
Ipil	0,785	300	434	563	0,0014	39.300	153
Lanete	0,495	120	336	462	0,0014	31.443	165
Lanután	0,784	»	»	»	»	»	»
Lauán	0,43	90	226	694	0,0010	71.472	76
Malatapay	0,78	290	500	740	0,0020	39.300	146
Mangachapuy	0,766	136	438	327	0,0006	62.887	165
Molave	0,819	290	600	1.257	0,0016	78.600	255
Narra	0,634	200	500	633	0,0012	52.400	127
Palma brava	1,085	400	530	892	0,0011	78.600	153
Palo-maría	0,574	126	400	950	0,0011	87.500	134
Tangile	0,603	100	300	693	0,0010	71.462	145
Teca	0,816	»	»	»	»	»	»
Tíndalo	0,809	106	450	470	0,0012	49.130	165
Yacal	0,925	200	450	1.174	0,0012	98.260	191

DEFECTOS DE LAS MADERAS,

CONDICIONES Á QUE DEBEN SATISFACER Y CAUSAS DE SU DESTRUCCIÓN EN LAS OBRAS.

Conocidos por los artículos anteriores los caracteres generales de las maderas más comúnmente usadas, es preciso determinar las condiciones á que han de satisfacer para que se deban emplear, á cuyo fin conviene describir los defectos que suelen presentar, procedentes unos de enfermedades sufridas por los árboles en pie, y otros de vicios adquiridos por las maderas en los almacenes, después de cortadas y aun labradas, ya por causas físicas, ya por el desarrollo de gérmenes que contenía la planta. El estudio de tan importante cuestión no puede detenerse en ese punto: maderas excelentes se destruyen, á veces con rapidez, en las obras en que se emplean, y para poder combatir con éxito los efectos, es indispensable que se procure investigar su origen.

ENFERMEDADES Y DEFECTOS DE LOS ÁRBOLES EN PIE.

Las enfermedades de los árboles vivos pueden provenir de defectos propios del individuo, ó de estar plantado éste en un terreno poco á propósito para su crecimiento. Considerando sólo el primer grupo, se indicarán los caracteres de las enfermedades más comunes; lo mismo se hará con los defectos de las piezas cortadas, sin perjuicio de agregar al final un estado en que se enumeren casi todos, expresando la mayor ó menor importancia que deba atribuírseles, desde el punto de vista del aprovechamiento de la madera en las construcciones.

Úlceras, chancros y lagrimales.—Las *úlceras* corresponden casi siempre á una desorganización del tejido de la madera, originada por una acumulación de savia en un punto determinado, que ocasiona la supuración y puede concluir por producir la gangrena. Cuando las úlceras provienen de una enfermedad de la raíz, se llaman *chancros*, y se conocen en que el defecto se extiende á un nú-

mero determinado de ramas. Si la úlcera se ha formado en la axila de una rama desgajada parcialmente del tronco, se denomina *lagrimal;* si la descomposición no se propaga al interior, sólo resulta de la enfermedad un núcleo de madera vana incrustada en la masa leñosa sana, sin otro perjuicio que disminuir el volumen de madera aprovechable.

Caries.—La savia que afluye á los bordes de una úlcera se altera también, transformándose en un líquido pardo y acre, que dificulta que la herida se cicatrice y que se forme una capa cortical que la proteja, suspendiéndose en ese sitio la superposición de anillos, y resultando un agujero que nunca se cierra y que constituye la *caries.* Esta enfermedad no afecta más que á la extensión que ocupa, y sólo tiene el inconveniente de amenguar las dimensiones de las piezas al separar las partes dañadas.

Goteras y grisetas.—Se conoce con estos nombres el efecto producido por la filtración del agua en el interior del tronco. La acción de los vientos ó las podas descuidadas pueden dejar aberturas, por donde penetren las aguas pluviales, causando la descomposición de la madera y originando las *goteras ó grisetas* (enfermedad en que degeneran á veces las úlceras), que, aumentando sin cesar, se transmiten á las fibras longitudinales del tronco, que parten de la periferia de una rama desgajada, llegando á ocupar una ancha zona alrededor del punto de unión de las ramas y el tallo. Este defecto puede constituir un vicio muy grande en la madera; á medida que el mal se desarrolla va penetrando hacia el interior del árbol, aclarándose el color de la griseta, que, según los casos, se llama *negra, amarilla* ó *blanca*; en la mayoría de las circunstancias, no convendrá emplear en las construcciones piezas que acusen la existencia de goteras blancas ó amarillas.

Grietas ó fendas.—La sequedad, el bochorno y la acción violenta del sol después de grandes fríos, producen hendeduras longitudinales ó transversales, que á veces llegan hasta el líber y la albura; la parte puesta al descubierto no se nutre, se seca, y el desarrollo del árbol es desigual. Cuando las *grietas* ó *fendas* son poco profundas y no presentan en los bordes síntomas de otras enfermedades, se puede utilizar la madera.

Pie de gallo, pata de gallina ó simple pudrición.—

Es una de las primeras manifestaciones de la pudrición: se da á conocer por una grieta que, partiendo del corazón, se dirige en sentido radial á la periferia del tronco, y que tiene cubiertas sus paredes de una especie de moho que despide un olor repugnante, carácter que sirve para diferenciar este vicio del llamado *corazón partido,* que generalmente es una grieta causada por la sequedad. El pie de gallo ataca á los árboles, bien por su decrepitud, bien por la pobreza del suelo y falta de condiciones para la vegetación. Cuando el defecto se presenta sólo en la base del tronco, puede emplearse la parte no dañada; pero si tiene mucha extensión hay que desechar la madera, porque ofrece poca resistencia y es muy propensa á pudrirse. Esta enfermedad se propaga después de apeado el árbol, si no se extirpa la parte enferma.

Pudrición roja y tabaco.—Se puede considerar como una pudrición de mayor intensidad que la pata de gallina; se origina por la decrepitud del árbol ó un estado morboso de los tejidos. Por lo general, se acusa el defecto por un polvo de color rojo-canela, algo parduzco, de donde toma el nombre de *pudrición roja;* si la descomposición está avanzada, el polvillo es más obscuro y la enfermedad se llama entonces *tabaco.* La madera de árboles que tengan estos vicios, no debe emplearse en construcción.

Madera pasmada, heladura ó atronadura.—Consiste en una hendedura que desde la periferia penetra al interior del tronco, en la dirección de los radios medulares, á mayor ó menor profundidad, según la intensidad del defecto. Al cicatrizarse la fenda, se forma al exterior un pequeño reborde negruzco, que no desaparece del tronco y manifiesta el vicio. Éste proviene de la desigual dilatación de los tejidos, producida por heladas tardías, que congelan y hacen aumentar de volumen el agua de la savia ya en movimiento; otras veces se debe á fuertes vientos ó calores. Duhamel lo considera como resultado de la acción mecánica del viento ó del peso de la nieve, pero es poco verosímil esta explicación. De ordinario no debe recibirse la madera pasmada, como no se utilice para aserrarla en tablones y emplear los que queden sanos.

Acebolladura, colaña ó cebolla.—Produce esta enfermedad una solución de continuidad entre dos anillos contiguos, dejando un espacio vacío, que á menudo ocupa toda la extensión de una capa

anual, aislándola y separándola del tejido leñoso formado después. La facilidad con que puede penetrar el agua en dicha zona, constituye un medio de descomposición muy frecuente. Este vicio puede provenir, ya de la acción de vientos fuertes que desprenden la corteza en la época en que el árbol está en plena savia, ya del peso de la nieve ó de la acción mecánica del viento, ya del choque que experimenta el árbol al caer en terreno duro, ya de la congelación de la savia, motivada por fríos intensos, que descomponen el cambium, dando lugar á la separación de la corteza del árbol. De todas estas causas, la más probable parece la última, porque se observa que las acebolladuras se presentan en las capas que corresponden á años de inviernos muy rigurosos.

La madera acebollada no debe emplearse en las construcciones, á menos que dividida por los sitios agrietados, resulten trozos sanos de dimensiones convenientes.

Fibras torcidas ó reviradas.—Este defecto se produce por la acción de un viento fuerte sobre un árbol joven. La madera de *fibras torcidas* ó *reviradas*, si no muy elástica, ofrece á veces bastante resistencia, pero no se debe escuadrar ni aserrar, porque se cortarían las fibras, debilitándose la pieza; por tanto, la madera que tenga pronunciado este defecto, conviene desecharla siempre.

Desprendimiento de la corteza ó defoliación cortical.—Consiste en la muerte y desecación de la epidermis y algunas capas corticales, que se desprenden y dejan el líber al descubierto. No se ha averiguado el origen de esta enfermedad: algunos botánicos la atribuyen á la acción de grandes sequías después de una humedad prolongada; puede también provenir de la picadura de ciertos insectos. Sea como quiera, este accidente, si adquiere intensidad, produce la muerte del árbol.

Verrugas, tumores, lupias ó lobanillos, infartos, postemas.—Son vicios locales que alteran la organización del líber, determinan la acumulación de savia en uno ó varios puntos, y producen abultamientos que, según sus formas, toman los nombres expresados. Se producen estos defectos, por la picadura de insectos, por las heridas, por la succión de plantas parásitas y por otras causas. De ordinario las verrugas tienen la misma importancia que los *nudos* ó *clavos*, de que luego se hablará; cuando son redondeadas

cerradas, se reputan por los prácticos como indicio de salud; pero son longitudinales y están situadas á lo largo del árbol, lo deforan y es común que la madera experimente alteración.

Brotes quemados.—Los grandes fríos suelen producir la uerte de los brotes tiernos, sobre todo si abundan en jugos ó huedad. Cuando los árboles no tienen dimensiones bastantes para restir la acción del frío, ó cuando están plantados en una zona de nde no son propios y en que se trata de aclimatarlos, la enfermed que se describe puede producir su muerte.

Defoliación.—Es la caída de las hojas antes de la época ordiria. Tiene por causas una enfermedad del líber, la acción de un lor demasiado fuerte ó la de heladas tardías: la madera que se rma en tales circunstancias es de mala calidad.

Ictericia.—Así se llama el vicio que, descolorando las hojas, las ñe de amarillo. Esta enfermedad es propia de los árboles viejos, y tera de un modo notable las condiciones de la madera.

Tizón.—Cuando un árbol padece esta enfermedad, se cubren sus ojas y tronco de un polvillo rojo producido por un hongo del génei *uredo*.

Plantas parásitas. *Musgos, líquenes, hongos.*—Las plantas rásitas impiden el desarrollo del árbol, no sólo porque á veces se itren á expensas de él, sino porque rodeándolo por todas partes, ó en le privan de ensancharse por la compresión que ejercen, ó quen incrustadas en las envueltas corticales, de manera que al secar dejan el líber al descubierto. Los hongos se nutren á expensas del bol, y sus raíces penetran hasta el líber, absorben la savia é imden su circulación por los conductos fibro-vasculares. Los musgos líquenes se alimentan de los principios nutritivos de la atmósfera, ro tienen los demás inconvenientes señalados.

Agallas.—Son excrecencias producidas en las hojas y en los otes por los insectos. La *nuez de agallas* proviene de un roble del sia Menor.

Madera picada, agusanamiento.—Las larvas introducidas ajo la corteza del árbol, producen al desarrollarse gusanos que peetran en todas direcciones, abriendo galerías que acaban por ocaonar la muerte del individuo. Esta enfermedad se propaga en los iontes con rapidez.

Caducidad, decrepitud, madera borne.—Los árboles viejos se *coronan;* es decir, se secan las puntas de las ramas, tomando las copas una forma redondeada: esto indica que el árbol ha llegado al fin de su vida y que no tardará en descomponerse. Cortada la madera en el momento que se inicia la caducidad, puede utilizarse en las construcciones; pero más tarde, es ya inservible.

Nudos ó clavos.—Se da este nombre á los discos de diversa clase de madera, que están incrustados en el tejido leñoso, como residuo de una rama que fué rodeada por los crecimientos anuales del tronco, sin soldarse del todo con ella las nuevas capas formadas. Los nudos son, por regla general, más obscuros que el resto de la madera, y suelen dar lugar á la formación de grisetas. Sucede á menudo que el muñón que deja una rama al separarse del tronco muere antes de que lo cubran las capas leñosas formadas posteriormente; en tal caso, queda una porción de madera que puede entrar en descomposición, recibiendo el clavo el nombre de *nudo con cáscara tragada*, y presentándose con frecuencia en el punto correspondiente algunas manchas blancas.

Doble albura.—Hay árboles que tienen dos zonas de albura, separadas por varios anillos de madera dura; á veces la albura interior no ocupa toda la sección circular, sino simplemente un sector. Según la opinión más autorizada, proviene este defecto de fríos intensos impropios de la estación, que detuvieron la circulación de la savia antes que se transformase la albura en duramen. La madera que presenta este defecto no puede emplearse en construcción, porque es muy propensa á que la ataquen los insectos y á entrar en putrefacción; sin embargo, si el mal no es muy intenso, no hay inconveniente en utilizar los tablones ó tablas que se saquen, con tal que queden exentas de falsa albura.

Filomanía.—La excesiva abundancia de jugos suele ocasionar un desarrollo extraordinario de hojas, en cuya formación se invierte gran parte de las substancias nutritivas, produciendo una circulación anormal, de la que resulta una albura que no puede más tarde convertirse en madera perfecta.

CAUSAS DE DESTRUCCIÓN DE LAS MADERAS CORTADAS.

Madera recalentada ó quemada.—Cuando después de apeados los árboles se colocan las piezas, labradas ó sin labrar, en un almacén húmedo y mal ventilado, la savia que contienen no puede evaporarse y empieza á fermentar, presentando la madera en tal estado manchas negras ó rojas, que exhalan un olor ácido; si no se toman precauciones, las piezas se pudren rápidamente y se hacen inservibles para las construcciones. Por esta razón, conviene disminuir, en lo posible, la cantidad de savia, y por tanto, apear los árboles, cuando están en suspenso las funciones de nutrición.

La *madera recalentada* se halla en el primer período de descomposición; cuando la enfermedad avanza, pasa ya al estado de *madera quemada*, convirtiéndose en un polvillo muy fino, de color negruzco y olor nauseabundo, é invadiéndola los insectos con preferencia á las piezas sanas.

Carcoma.—La madera almacenada se reduce también á polvo por la acción de un insecto parásito especial, conocido con aquel nombre *(anobium)*. La *carcoma* no ataca, por lo general, más que á la madera vieja ó defectuosa. Conviene desechar la pieza que tenga el menor indicio de estar carcomida.

Pudrición blanca, caries seca.—Es una especie de lepra que destruye completamente la madera, y se manifiesta por el desarrollo de hongos de todas clases en la superficie del tronco. Las maderas recalentadas y las de mala calidad, son las que más á menudo presentan este vicio, que se propaga con rapidez asombrosa en los almacenes. No hay conformidad entre los botánicos acerca del origen de la pudrición blanca: atribúyenla algunos á la presencia de un hongo que determina la fermentación de la savia de la madera cortada en primavera.

La pudrición blanca se presenta también en los árboles vivos, cuando se cierra una boca de griseta, después de haber penetrado por ella el agua en el interior del tronco. Ofrece entonces caracteres muy semejantes á los de la pudrición roja ó tabaco.

CONDICIONES Á QUE DEBEN SATISFACER LAS MADERAS PARA EMPLEARSE EN LAS CONSTRUCCIONES.

Condiciones generales.—La madera sin descortezar debe tener una forma ligeramente cónica y corteza fina y uniforme. La sección transversal ha de presentar un color obscuro é igual; es preciso que la transición del duramen á la albura se haga por grados insensibles, y no de una manera brusca; cuando es irregular, se puede asegurar que el árbol ha padecido alguna enfermedad.

El olor debe ser fresco y agradable. La madera recalentada ó picada, presenta un olor á humedad más ó menos caracterizado, según la intensidad del defecto, y que permite reconocerla fácilmente. La madera vieja tiene un olor imperceptible, pero cuando se quita con un cepillo ú otra herramienta la capa superficial, reaparece con bastante fuerza.

Golpeando con un mazo la pieza, sostenida en dos apoyos, ha de dar un sonido claro; si no fuese así, sería prueba de que está alterada ó de que contiene oquedades. Los madereros prácticos reconocen, por este solo indicio, los puntos en que existe el defecto.

La madera debe estar perfectamente seca; haberse cortado con bastante anterioridad á su empleo en obra, y proceder de buen terreno y de árboles apeados en la estación conveniente.

Maderas que deben desecharse.—Por regla general, conviene desechar las maderas *enjutas, raquíticas, de fibras torcidas, pasmadas, acebolladas, con grietas ó fendas profundas, agrisetadas, agusanadas, carcomidas,* etc.; las que presenten *indicios de pudrición roja* ó *blanca;* las procedentes de árboles *decrépitos* ó que hubieren muerto antes del apeo; las que tengan *doble albura,* y por último, las *recalentadas* ó *quemadas.*

Las piezas que presenten señales de *nudos, verrugas, tumores, úlceras* ó *chancros, grietas* ó *plantas parásitas,* deben excluirse, á ser posible, reemplazándolas con otras; pero como es rara la que no tiene alguno de esos defectos, hay que examinarlas con especial cuidado, y pueden admitirse y emplearse en obra, siempre que ofrezcan condiciones sobradas de resistencia. Cuando tengan nudos que no sean

muy profundos, lo que se reconoce sondeando con una barrena, se quita la parte viciada y se sustituye con un pedazo de madera dura mojada en alquitrán, que se introduce á golpes de mazo.

En todo caso, debe desecharse la pieza que dé lugar á dudas, porque, de lo contrario, se pudiera comprometer la solidez ó duración de la obra por una economía relativamente insignificante.

Para terminar lo relativo á recepción de maderas, se incluye á continuación un cuadro, tomado de la obra de D. Eugenio Plá, en que se consignan las enfermedades y defectos que pueden presentar aquellas, los caracteres por que se distinguen en los árboles en pie y en los cortados, y la influencia que tienen en el aprovechamiento de las piezas para construcciones navales ó civiles de cierta importancia.

DEFECTO.	CARACTERES.	UTILIDAD DE LA MADERA.
	ÁRBOL EN PIE.	
Úlceras y chancros	Un punto de supuración	Útil la parte sana.
Nudos con cáscara tragada	Nudo con manchas blancas	Desechada generalmente.
Goteras	Señales de humedad en la unión de las ramas	Idem id.
Caries	La madera se convierte en polvo	Desechada siempre.
Fendas	Grietas en la corteza	Idem id.
Heladura, madera pasmada	Grietas profundas en la albura y el duramen	Desechada generalmente.
Pata de gallina	Grietas circulares en la corteza	Aceptable alguna vez.
Acebolladura, colaña ó cebolla	Tronco hueco que se reconoce al golpearlo	Desechada generalmente.
Fibras torcidas ó reviradas	Fibras en espiral	Desechada siempre.
Tumores ó verrugas	Protuberancias leñosas	Desechada generalmente.
Defoliación cortical	La corteza se desprende en placas	Útil.
Brotes quemados	Quemada la extremidad de las ramas	Idem.
Defoliación	Caída prematura de las hojas	Idem.
Filomanía	Producción excesiva de hojas	Idem.
Tizón	Polvo rojizo en las hojas y á veces en el tronco	Idem.
Ictericia	Hojas amarillas fuera de la época acostumbrada	Desechada siempre.
Quemadura	Árbol ennegrecido ó muerto en parte	Desechada generalmente.
Decrepitud, caducidad, madera borne	Las ramas superiores secas ó muertas	Desechada siempre.
Pudrición	Madera parecida á mantillo	Desechada generalmente.
Carne de gallina	Puntos blancos manchando el color de la madera	Desechada siempre.
Madera muerta	Madera blanda y quebradiza, vegetación suspendida	Idem id.
Hongos, musgos y líquenes	Plantas parásitas en el tronco ó la raíz	Desechada generalmente.
Agallas	Excrecencias en las hojas y brotes	Aceptable muchas veces.
Madera picada	Desmerecimiento rápido del árbol	Desechada siempre.

304

DEFECTO.	CARACTERES.	UTILIDAD DE LA MADERA.
	ÁRBOL APEADO.	
Madera roja	Madera rojiza y porosa	Desechada generalmente.
Albura	Madera próxima á la corteza, blanda y clara	Aceptable muy pocas veces.
Doble albura	Dos capas de albura separadas por duramen	Desechada generalmente.
Madera viciada	Fibras entrecruzadas, onduladas y torcidas	Desechada siempre.
Fibras torcidas	Fibras en espiral	Idem id.
Fibras desiguales	Fibras de desigual tamaño y distribución	Desechada generalmente.
Madera nudosa	Nudos frecuentes y numerosos	Idem id.
Madera helada y alburosa	Anillos de color más pálido que la madera	Desechada siempre.
Madera agrietada	Hendeduras transversales	Idem id.
Madera hendida	Grietas en sentido longitudinal ó de las fibras	Útil para cortarse por las fendas.
Madera acebollada	Manchas pardas en la madera recién cortada; ordinariamente produce un sonido apagado por la percusión.	Desechada generalmente.
Madera acebollada y con pata de gallina	Fendas radiales y circulares	Idem id.
Madera recalentada	Olor ácido, desagradable, savia fermentada	Desechada siempre.
Madera podrida	Olor desagradable; madera deleznable, pulverulenta; color negruzco ó pardo-rojizo	Idem id.
Madera amarillenta	Olor ácido, manchas circulares amarillas	Idem id.
Manchas de savia	Manchas más obscuras que en el defecto anterior, y sin ningún olor desagradable	Aceptable.
Pudrición blanca y seca	Madera quebradiza, deleznable, color canela	Desechada siempre.
Caries seca	Olor ácido, madera pulverulenta y presencia de vegetales parásitos	Idem id.

305

20

DEFECTO.	CARACTERES.	UTILIDAD DE LA MADERA.
Griseta	Olor á tabaco, color pardo con estrías ó puntos blancos	Desechada generalmente.
Griseta amarilla	Color pardo y amarillento, olor á tabaco, con estrías y puntos amarillo-anaranjados	Desechada siempre.
Griseta blanca	Olor á tabaco; madera descompuesta, con filamentos blancos	Idem id.
Griseta negra ó muerta	Color negro, olor natural de la madera	Aceptable generalmente.
Tabaco ó pudrición roja	Color pardo-rojizo, olor á tabaco	Desechada generalmente.
Hupe	Madera esponjosa y con olor á hongo	Idem id.
Ojo de perdiz	Nudo con un punto de color obscuro	Idem id.
Madera picada	Madera agujereada; olor ácido generalmente	Desechada siempre.
Madera borne	Fendas á través de las fibras; madera blanda, ligera, comunmente con la pata de gallina, en particular en la base de la pieza; presencia de musgos	Idem id.
Madera muerta	Madera quebradiza, color pálido y sin olor	Idem id.
Madera negra	Vetas negras (frecuentes en el roble); olor natural	Aceptable generalmente.
Madera alburosa ó borneadiza	Mucha albura; madera blanda y ligera, á veces deleznable; color pálido, grano poco compacto, corteza negra hacia el pie del árbol	Desechada siempre.

CAUSAS DE DESTRUCCIÓN DE LAS MADERAS PUESTAS EN OBRA.

Por inmejorable que sea la madera que se emplee en una obra, no dura eternamente, y en algunos casos se destruye con rapidez asombrosa.

Piezas resguardadas de la intemperie.—La madera que no está sujeta directamente á las influencias atmosféricas, como por ejemplo, la que se emplea en armaduras de cubiertas, se halla siempre seca, y si es sana y de buena calidad, puede durar siglos, como se observa en construcciones de fecha muy antigua. Estas piezas, sin embargo, como las que se guardan en almacenes ó las que se usan al aire libre, están expuestas á picarse por una porción de insectos, que, como la carcoma, llegan á reducirlas á polvo. Otra causa, además, puede destruir las piezas, aunque estén secas y abrigadas del aire, que es la acción que los morteros ejercen en las cabezas, y en general, en los puntos en que la madera está en contacto con fábricas de piedras naturales ó artificiales. Desde este punto de vista, las mezclas de cal son más perjudiciales que las de yeso, y ya se han citado maderas, como el palo-maría de Filipinas, que se pudren pronto en presencia de la cal: lo mismo, si no en tan grande escala, ocurre con muchos árboles europeos. Parece que las especies que se alterarán por la acción de los morteros ordinarios, serán las que estén cargadas de principios ácidos, susceptibles de combinarse con bases tan enérgicas como el hidrato cálcico.

Piezas sumergidas en agua dulce.—La mayor parte de las maderas sumergidas en agua dulce, de una manera absolutamente continua y privadas de todo contacto con el aire, se endurecen, en la mayoría de los casos, y se conservan mucho tiempo, á menos que las devoren parásitos especiales. Es un hecho admitido por todos los constructores, y que se ha indicado ya en las monografías de varias especies arbóreas de España y Ultramar; no obstante, tiene algunas excepciones, como lo prueban los ejemplos siguientes que cita Debauve en su libro sobre *Exécution des travaux:*

1.° Teniendo que ejecutar los cimientos de un puente destina-

do á reemplazar á otro antiguo, sobre el Gelise, el Sr. Fargue, Ingeniero de Puentes y calzadas, observó que los pilotes viejos habían experimentado, no sólo una putrefacción, sino una destrucción completa de la substancia leñosa; ésta se había transformado en una materia esponjosa, sin ninguna consistencia, que los operarios cortaban con la pala. Los pilotes eran de roble y habían estado resguardados del aire en absoluto, no pudiéndose, por tanto, atribuir su descomposición á alternativas de sequedad y humedad. El agua que se escapaba de los agujeros de los pilotes estaba cargada de un polvillo amarillento, de olor nauseabundo y parecido á un precipitado químico; la análisis demostró que aquella agua no provenía del río, sino de las filtraciones de los marjales de las Landas. Algunas aguas estancadas encierran una especie de fermento que destruye con rapidez la substancia leñosa, siendo esto sin duda el origen del hecho señalado por Fargue.

2.° El Ingeniero Fontanges, al construir un puente sobre el Epte, en Gisors, encontró en los cimientos antiguos, que descansaban en un banco de turba, pilotes completamente sumergidos y que se podían cortar con la azada, á pesar de conservar la forma y el aspecto naturales. La causa de la destrucción de la madera debe atribuirse verosímilmente á los sulfuros de la turba.

3.° Se ha observado que las aguas selenitosas se descomponen en contacto con la materia orgánica de la madera; el sulfato se reduce á sulfuro, la substancia vegetal absorbe oxígeno, y se produce una combustión lenta que destruye el duramen.

De las líneas que anteceden se deduce que si bien, por lo general, las piezas de madera se conservan perfectamente cuando están sumergidas de continuo, pueden destruirse con rapidez, si la constitución química del suelo ó de las materias que el agua tiene en disolución ó suspensión, es á propósito para producir reacciones que alteren el tejido vegetal.

Piezas sujetas á alternativas de humedad y sequedad.—La madera enterrada ó la sujeta alternativamente á las acciones del aire y del agua, pierde en pocos años sus condiciones y se tiene que sustituir con otra. Todos los días se patentiza este hecho con las traviesas usadas en los ferrocarriles. De los datos estadísticos que ha tenido la amabilidad de facilitar el Ingeniero D. Eduardo de Peralta, resulta que en la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante, las duraciones medias de las traviesas, según las especies, y suponiendo un balaste permeable y bien saneado, son las siguientes:

Roble de buena calidad........................	8 á 12 años.
Pino sin preparar, procedente de la sierra de Segura, Cuenca y Soria *(salgareño, albar* y *negral)*......	3 á 4 »
Abeto rojo del Báltico	3 á 4 »

La misma Compañía consiguió en épocas anteriores hacer durar de ocho á diez años traviesas de pino de Segura, sin inyectar, y de seis á siete las procedentes de Cuenca, en iguales condiciones, pero los rodales que se explotaban han desaparecido ya. En la actualidad pueden admitirse los números consignados al principio, como términos medios para toda España, tanto por la extensa zona á que se refieren, cuanto porque los datos que se han recogido de otras empresas importantes, como la de los ferrocarriles del Norte y la de Asturias, Galicia y León, están conformes con los estampados, en cuanto á la duración de las traviesas de roble, no empleándose de ordinario las de pino, sin inyectarlas como luego se verá.

La fermentación producida por la humedad y el calor es más activa, á medida que éste crece en intensidad; así es que en Alemania se admiten las siguientes duraciones medias para las traviesas no preparadas, bastante mayores que las que corresponden á España:

Roble..................	14 á 16 años.
Abeto..................	7 á 8 »
Pino..................	4 á 5 »
Haya,..................	2 $^1/_2$ á 3 »

En la zona tórrida, por el contrario, la destrucción es rapidísima, aunque las maderas sean tan duras como la teca, el palo de hierro, etc., que se usan en la India inglesa.

Piezas sumergidas en agua salada.—Las maderas sumergidas en el mar, se descomponen á veces en muy pocos años, por la acción de algunos parásitos; pero fuera de esta circunstancia, las piezas introducidas constantemente en el agua se hacen más duras y resistentes en la mayor parte de los casos.

Entre los parásitos debe citarse, en primer término, el *teredo*, llamado vulgarmente *broma*, y por algunos *taraza*, que es un molusco acéfalo bivalvo, que pertenece á la misma familia que la almeja y la ostra, á las cuales, sin embargo, no se parece en nada exteriormente. El teredo abre galerías en las piezas de madera, destruyendo con notable celeridad la substancia leñosa. Según Quatrefages, hay tres especies de teredo oriundos de Europa, que son el *navalis*, el *bipennata* y el *fatalis;* este último se halla en los puertos de Pasajes y San Sebastián.

También se consignará que un crustáceo, el *limnoria terebrans*, produce estragos en el mar del Norte, en las obras marítimas de madera; que el *chelura terebrans* ha aparecido en Kingstown; y que otro molusco bivalvo, el *fólado (pholas)*, se refugia, no sólo en la madera, sino en las rocas y las fábricas. Los fólados abundan poco en las costas de Europa; en las de España el teredo ó broma es el único que se desarrolla.

Las indicaciones que se han hecho, se amplían en el curso de Puertos.

CONSERVACIÓN DE MADERAS.

Procedimientos que se emplean.—No hay necesidad de insistir en la conveniencia de preparar las maderas de tal suerte, que sin gravar demasiado su precio, se consiga prolongar su duración, ya cuando las piezas han de estar sujetas á alternativas termométricas é higrométricas, ya cuando corren riesgo de que las ataquen los insectos ó los moluscos, ya cuando han de estar enterradas total ó parcialmente, como sucede con las traviesas de ferrocarriles. Por desgracia, el problema no está resuelto aún de un modo satisfactorio; pero se darán á conocer los procedimientos que con éxito vario se siguen en la actualidad. Pueden dividirse aquellos para su estudio en los tres grupos siguientes: 1.°, enlucidos y forros; 2.°, inyección de substancias antisépticas; 5.°, carbonización superficial.

ENLUCIDOS Y FORROS.

Enlucidos.—Se prescindirá de las pinturas, que, por regla general, se aplican á las obras interiores y á las de ebanistería, y que no protegen por completo á las maderas de la picadura de insectos, debiendo considerarse principalmente como elemento de decoración: de ellas se tratará al final de esta primera parte. Los enlucidos protectores se usan sobre todo en construcciones de madera expuestas al aire libre ó sumergidas, y son muchos los propuestos, sin que ninguno pueda recomendarse en absoluto. Conviene conocer los siguientes, aparte de otros varios, que se describen en el curso de Puertos.

1.ª El *alquitranamiento* ó *embreadura*, que consiste en dar varias manos de alquitrán ó de brea, substancias que á la vez que constituyen verdaderas pinturas, sobre las que escurre la humedad, gozan de propiedades antisépticas ó antipútridas. La manera de alquitranar y de embrear, se describirá al hablar de las pinturas.

2.° Cubrir las superficies de las piezas con una composición formada de 60 partes en peso de alquitrán vegetal, 20 de colta ó alquitrán mineral, y 20 de asfalto líquido. Este enlucido difiere bien poco en su esencia del anterior, pero presenta la ventaja de hacer el efecto de un barniz negro agradable.

5.° Emplear la llamada *cola marina* de Jeffery, que se prepara disolviendo 500 gramos de goma elástica en unos 18 litros de nafta, esencia de trementina ó aceite procedente de la destilación del alquitrán mineral; se agita de cuando en cuando la mezcla, por espacio de diez días para facilitar la disolución; se añaden luego dos partes en peso de laca por una de nafta, y se calienta todo en un recipiente de hierro. Esta cola no ha producido mejores resultados que la embreadura ordinaria en las construcciones civiles; y en las navales, en las que el inventor creía que podría economizar los forros metálicos de los barcos, se ha observado que no resguarda bien á la madera, y que los cascos se cubren pronto de hierbas, moluscos y otros cuerpos marinos.

No conviene enlucir ni pintar más que piezas perfectamente secas y sanas: es un error creer que la pintura puede prolongar la duración de una madera mala, húmeda ó recalentada, siendo así que la acorta, porque la fermentación se propaga con mayor rapidez. La preocupación de que sucede lo contrario está muy arraigada y es difícil hacerla desaparecer.

Forros.—Los *forros* ó *cubiertas* se emplean principalmente para

defender las maderas contra el teredo. La cubierta más sencilla, y en definitiva la más eficaz, se reduce á clavetear toda la superficie con clavos, cuya cabeza ocupe la extensión que se haya de proteger; claro es que para que el revestimiento sea completo y produzca buen resultado, es indispensable que las cabezas no sean circulares, sino rectangulares ó cuadradas. Las maderas que sirven para construir puertas de esclusa en el mar, se clavetean casi siempre; para los largueros de busco que deben aplicarse con exactitud y producir un cierre hermético, se usan alfileres, cuya cabeza se hace enrasar con la superficie de la madera. El principal defecto del sistema consiste en que las cabezas de los clavos están muy expuestas á oxidarse y requiere, por tanto, una conservación continua y esmerada, que se traduce en gastos de alguna consideración.

Los forros ó revestimientos de palastro, de cemento, de cuero, con que se ha ensayado cubrir las maderas en obras marítimas, no han tenido, por lo general, buen éxito.

INYECCIÓN DE SUBSTANCIAS ANTISÉPTICAS.

Efectos de las substancias antisépticas.—Las substancias antisépticas se pueden inyectar, por los procedimientos que luego se explicarán, en las maderas resinosas más usadas, en las blandas y en la albura de las que se han clasificado como duras. El corazón de éstas no es fácil de inyectar, con la excepción del de haya, que absorbe perfectamente los líquidos antipútridos. No es un inconveniente que el duramen del roble y otras maderas semejantes no admitan la inyección; si se consigue que la albura adquiera tanta resistencia como aquel á los agentes destructores, se habrá logrado un gran resultado, á lo menos para una porción de usos á que se pueden dedicar las piezas: no parece, por tanto, fundada la opinión de algunos autores, y entre ellos Debauve, que sostienen que las piezas que se inyectan han de ser homogéneas.

La causa de que la madera se destruya es una combustión lenta, que se produce por la influencia combinada del aire y el agua; el sistema leñoso está constituído por substancias no nitrogenadas, pero impregnadas de savia, cuyos elementos principales son la fibrina y la albúmina vegetales, materias ricas en ázoe y eminentemente putrefactivas. Para que se produzca la fermentación son indispensables el oxígeno y el agua, cuerpos que están en contacto con las maderas enterradas ó expuestas al aire libre, lo que explica la rapidez con que se alteran en tales circunstancias.

Las substancias antisépticas preservan á las maderas por varias razones: 1.ª, el hecho sólo de la inyección desaloja mecánicamente mayor ó menor proporción de savia; 2.ª, los antisépticos tienen, en general, la propiedad de coagular las materias nitrogenadas como la albúmina, ó de combinarse con ellas, haciéndoles perder en ambos casos sus condiciones putrefactivas; 3.ª, los fermentos, que son seres organizados, no pueden vivir en contacto con los cuerpos más ó menos venenosos que se inyectan.

Pero antes de seguir adelante, conviene llamar la atención sobre uno de los efectos que se han indicado. Todo lo que sea favorecer la salida de la savia que impregna las fibras del tejido leñoso, contribuye en alto grado á la conservación de la madera. Así es que, independientemente del sistema de preparación que se haya de seguir (exceptuando el especial de Boucherie), y aun cuando hayan de utilizarse las piezas sin preparar, es muy oportuno procurar que pierdan toda la savia posible. Á este efecto recomendaba Rondelet que se mantuviesen verticales, por algún tiempo, los árboles después de la corta, para que por la sola acción de la gravedad desaparecieran en parte los líquidos contenidos en los vasos del tejido; pero esta operación no se puede realizar siempre con facilidad y exige gastos considerables de mano de obra. Más común es sumergir las piezas en agua dulce ó salada.

Inmersión en agua dulce.—Se reduce á tener sumergidas las maderas en agua estancada ó corriente, y mejor en esta última, por espacio de tres ó cuatro meses. De este modo se disuelven ó son arrastradas las materias azucaradas, gomosas ó salinas de la savia, precisamente las más difíciles de extraer. Apilando y almacenando luego las piezas, se secan mejor y en menos tiempo que cuando no se han sumergido.

Inmersión en agua salada.—Con esta operación se consiguen los mismos resultados que con la anterior, anulando ó conteniendo los efectos de la caries seca, por la desaparición de materias putrefac-

tivas. Es preferible introducir las piezas en depósitos que contengan una disolución preparada de sal común en agua dulce, que verificar la inmersión en el mar, donde estarían expuestas á que las atacase la broma. En los arsenales suelen conservarse las maderas, por algunos años, enterradas cerca del mar; pero ya se siga uno ú otro sistema, es preciso dejarlas secar antes de usarlas.

En la Carraca (Cádiz) se sumergen las piezas de roble por tres meses en agua salada; se conservan luego, hasta que se van á utilizar, enterradas en fango ó arcilla (1), é inmediatamente antes de emplearlas se introducen en agua dulce algunas horas, para que desaparezcan las sales y substancias extrañas que encierren. El olmo, el haya, el sabicú y el pino tea, se conservan en agua saturada de sal; el pino rojo, el pinabete, la caoba, el cedro, el palo santo y algunas otras maderas, en tinglados por donde puede circular el aire.

Diferentes antisépticos que se emplean.—Terminada la digresión anterior, y antes de clasificar y describir los métodos de inyección, conviene enumerar las ventajas é inconvenientes de las diversas substancias antisépticas. No se hablará de todas éstas, que son en número crecidísimo, pero sí se indicarán las principales.

Pirolignitos de hierro y de plomo.—El *pirolignito de hierro* es uno de los antisépticos usados de más antiguo; se prepara macerando herrajes viejos en ácido piroleñoso, ó sea en el ácido acético impuro, que se obtiene destilando las maderas. Es una substancia barata y cuyo efecto es hacer insolubles varias sales que no lo son: para demostrarlo experimentalmente, basta tomar dos rajas de melón, mojar una de ellas en pirolognito y abandonar á sí misma la otra; al cabo de algunos días se verá que ésta se ha podrido y que aquella, aunque ennegrecida, se conserva entera. El pirolignito de hierro ha producido buen resultado en muchos casos, pero en la actualidad se prefieren otros cuerpos, que parece obran con más energía.

El pirolignito de plomo se ha usado menos que el anterior y nunca tan ventajosamente.

Sublimado corrosivo.—El *sublimado corrosivo* ó cloruro mercúrico

(1) El roble gana mucho estando enterrado, por la formación del tanato de hierro, resultado de la combinación del ácido tánico de la madera con el óxido de hierro, que contienen las arcillas.

($Hg\ Cl^2$) forma con las fibras de la madera una combinación insoluble y exige, á consecuencia de ser un veneno violento, multitud de precauciones al someter las piezas á su acción. Aparte de la disposición especial que hay que dar á los depósitos, los operarios tienen que evitar todo contacto con la disolución de sublimado y con las piezas preparadas, y sobre todo guardarse muy bien de que se introduzcan las menores partículas de sal en los órganos digestivos ó respiratorios. Debe prepararse la disolución en una vasija cerrada, que reciba primero el agua hirviendo y después la sal; si se hiciera al revés, el vapor arrastraría mecánicamente algo de sublimado; de todos modos, el operario que agite la mezcla debe taparse la boca con un obturador. La extracción de las piezas del baño salino es también muy delicada: hay que empezar por trasvasar el líquido con bombas de madera á un depósito inmediato; para sacar luego las piezas tienen que usar los operarios guantes y capotones, cuidando además de lavarse con mucho cuidado, en particular antes de las comidas. Es cierto que muchas industrias requieren precauciones análogas, á que se acostumbra pronto el personal en una fabricación permanente; pero cuando se trata de instalaciones provisionales, en las que se utilizan los servicios de braceros de la localidad, que no comprenden que su vida pueda depender del cumplimiento de prescripciones que juzgan nimias y exageradas, es difícil alcanzar la prudencia indispensable para manipulaciones tan peligrosas. Á pesar de estos graves inconvenientes, el sublimado corrosivo se emplea hoy en la inyección de maderas, usando, por lo general, disoluciones de 1 parte en peso de sal por 150 de agua.

Cloruro de zinc.—El cloruro de zinc forma, como el de mercurio, una combinación insoluble con las fibras vegetales; presenta las ventajas de que no requiere precauciones especiales, de que las maderas impregnadas de esta sal se pueden emplear en seguida, y de que, después de secas, admiten pintura al óleo; pero las piezas que llevan pasadores ó escarpias de hierro, en cuyo caso se hallan las traviesas de ferrocarriles, se pudren fácilmente. No obstante, el Ingeniero holandés Kentergein, que en 1876 escribió una notable memoria sobre la inyección de traviesas, considera el cloruro de zinc como el mejor antiséptico, empleándolo en la disolución acuosa en la proporción en peso de 1 á 5 por 100.

SULFATO FERROSO Y FÉRRICO.—Son preservativos enérgicos, pero se usan poco, porque desagregan el tejido fibroso.

SULFATO CÚPRICO.—El *sulfato cúprico ó caparrosa azul*, forma compuestos insolubles con la albúmina y otras materias, mas si contiene algo de sulfato ferroso, produce desagregación en las fibras. Las maderas resinosas absorben mucho sulfato cúprico, que expulsa á las substancias nitrogenadas, pero siempre queda libre cierta cantidad de ácido sulfúrico que ejerce acción perjudicial. Á pesar de que la caparrosa azul es un veneno enérgico que destruye á los animales y los fermentos, parece que no da buen resultado para defender á las piezas de la broma en las construcciones marítimas, lo que se explica porque la combinación que forma con las substancias albuminosas es poco estable; el sulfato cúprico queda casi en estado de libertad, y como es soluble, el agua lo va haciendo desaparecer poco á poco.

En cuanto á la modificación que este antiséptico ocasiona en la estructura de la madera, se puede neutralizar, según Château, inyectando aceite de linaza en las piezas, después que hayan absorbido la sal metálica.

La caparrosa azul, en la proporcion de 1,5 á 5 por 100 de peso en disolución acuosa, es una de las materias que más se emplean para la conservación de maderas, sobre todo de traviesas de ferrocarriles. Á veces se reemplaza con el *sulfato de zinc*, que actúa de un modo completamente análogo.

CREOSOTA.—La *creosota* es un aceite amarillo-verdoso, algo más denso que el agua, soluble en el alcohol y en el éter, que arde con llama fuliginosa, como todos los cuerpos ricos en carbono. Se obtiene recogiendo los productos que se desprenden, entre 160 y 200°, al destilar el alquitrán mineral; á temperaturas inferiores á 160° se volatilizan sales amoniacales y aceites ligeros que encierran bencina, tan empleada en la industria, en particular para la preparación de los colores de anilina. La creosota es un compuesto complejo, en que se han encontrado unas 20 substancias distintas; las más conocidas son la verdadera creosota, C^7H^8O, y el *ácido fénico*, C^6H^6O, que es un excelente desinfectante y al que se atribuyen las propiedades enérgicas de la creosota, habiendo quien propone, Château entre ellos, que se use para inyectar las maderas una corta cantidad de

aquel ácido puro. Éste es indispensable para que la creosota dé buenos resultados; ha de entrar en la proporción mínima de 1 por 100, según Bethell, y otros afirman que no ha de bajar de 15 por 100, siendo preciso, de lo contrario, adicionarlo mecánicamente: también ha de tenerse presente que si la creosota encierra más de 50 por 100 de *naftalina* es ineficaz, no sólo porque esta última materia es muy volátil, sino porque espesa el aceite dificultando su inyección. De todo lo dicho, se deduce que la preparación de la creosota tiene que efectuarse con gran esmero.

De los numerosos experimentos hechos por el Ingeniero Jefe de Puentes y calzadas, Forestier, resulta que la creosota es el mejor antiséptico para las maderas empleadas en obras marítimas y el que más las preserva de la destrucción por el teredo, con tal que las piezas absorban unos 300 kilogramos por metro cúbico; si la cantidad que se inyecta es menor, no se evita el ataque. Para maderas enterradas ó expuestas al aire, la dosis puede reducirse á la mitad. Las piezas creosotadas se labran perfectamente, y la práctica demuestra que no pierden nada en flexibilidad ni en resistencia. En cambio de las ventajas señaladas, la creosota presenta los inconvenientes del fuerte y desagradable olor que con ella adquiere la madera, de la mayor facilidad de arder que comunica á las piezas, de que éstas no admiten pintura después de inyectadas y de que el coste del antiséptico es relativamente crecido. Prescindiendo de esta última circunstancia, claro es que las anteriores no tienen valor alguno cuando se trate de obras marítimas. La creosota se suele emplear en Inglaterra mezclada con alquitrán mineral ó con ácido piroleñoso; á veces se usan otros cuerpos procedentes asimismo de la destilación de substancias vegetales ó minerales y que tienen mayor ó menor analogía con la creosota en su composición, como la *brea mineral* extraída del gas de alumbrado, la *parafina* (1) disuelta en aceites esenciales, el *aceite de colta* (2), etc., etc.

(1) La *parafina* es una substancia sólida, de 0,87 de densidad, parecida en sus propiedades físicas á la esperma de ballena. Se recoge destilando los aceites pesados, últimos productos de la destilación de los alquitranes procedentes de las maderas, esquistos bituminosos y petróleos. Tiene la misma composición elemental que la etilena ó gas oleífico (C^2H^4).

(2) El *aceite de colta ó de alquitrán mineral* proviene como la creosota de

OTROS ANTISÉPTICOS.—Se han propuesto muchos otros antisépticos, ninguno de los cuales ha alcanzado importancia real en la práctica, como los *sulfatos bárico* y *estróncico*, que actúan de una manera semejante á la caparrosa; la *cal*, cuyos buenos efectos son dudosos y no se explican satisfactoriamente; el *bórax*, etc.

En resumen, las substancias antipútridas que hoy se aplican con preferencia para la inyección de maderas, son el sublimado corrosivo, el cloruro de zinc, la caparrosa azul y la creosota ó sus congéneres, y aun puede decirse que en España no se emplean más que las dos últimas.

Clasificación de los métodos de inyección.—La inyección en la madera de substancias antisépticas puede hacerse: 1.°, por simple inmersión en depósitos llenos de líquido; 2.°, por una pequeña presión y el efecto de la capilaridad en piezas recién cortadas, que es el procedimiento de Boucherie; y 3.°, por el vacío y la presión en vasos cerrados. Se explicarán los tres sistemas, haciendo luego algunas indicaciones acerca de las substancias que se suelen inyectar para colorir, hacer incombustibles ó petrificar las maderas.

INYECCIÓN POR INMERSIÓN.

La inyección *por inmersión* es muy económica, pero no da más que resultados medianos. Siguiendo el método adoptado por Couche en su obra de ferrocarriles, se subdividirá el procedimiento general en otros cuatro, según que la inmersión se efectúe *en frío*; *en caliente; en un baño hirviendo; y en caliente, después de haber secado las maderas en estufas.*

Inmersión en frío.—Es, por lo general, poco eficaz; su acción, en la que parece que la endósmosis desempeña algún papel, es muy lenta, debiendo prolongarse la inmersión por espacio de

la destilación del alquitrán, pero recogiendo los productos á temperaturas algo distintas: á veces, este aceite no contiene nada de creosota. Los productos de estas destilaciones están poco estudiados; hay algunos que tienen la misma composición química, y sin embargo, quizá por diversas disposiciones moleculares, gozan de propiedades muy diferentes. Bajo el nombre genérico de *creosota*, se comprenden substancias diversas y que no es posible precisar en el estado actual de la ciencia.

unos ocho días. Se comprende, por tanto, que para una producción diaria considerable, se necesita un material enorme de depósitos. Los antisépticos más comunes en este procedimiento, son la caparrosa azul y el sublimado corrosivo. Cuando se emplea este último, los depósitos deben ser de platino ó platinados, y si son de madera se cubren interiormente de un enlucido compuesto de aceite de linaza, cera, goma y estopa picada; este betún se da en caliente y sirve también para rellenar las juntas cuando se presente alguna fuga de líquido; herrajes exteriores y largos pasadores de rosca embutidos en el grueso de los tablones, sirven para apretar las juntas y hacerlas impermeables.

La inmersión en frío se practica aún, ó por lo menos se practicaba no hace muchos años, para inyectar traviesas resinosas para varios ferrocarriles de Prusia, Sajonia y Baden.

Inmersión en caliente.—Poniendo el baño de caparrosa á una temperatura de 60° próximamente, se ha observado que en media hora se obtiene una inyección más enérgica, á igualdad de las demás circunstancias, que por la inmersión en frío durante dos días. El método se ha ensayado con éxito vario en diferentes ferrocarriles franceses; es expedito y económico y, en definitiva, opina Couche que tal vez sea, bien establecido, el más á propósito para inyectar medios rollizos de roble, porque á muy poca costa se logra que la albura adquiera la misma dureza que el corazón, que forma una parte demasiado grande de la masa para que la traviesa pueda alcanzar más duración que él.

Inmersión en baño hirviendo.—Este método ha estado muy en boga en Baviera. Las traviesas de abeto escuadradas se colocaban verticalmente en una gran cuba, también de madera; se fijaban por la parte superior para que no flotasen, y se sometían cuarenta y cinco minutos á la acción de un chorro de vapor de la disolución de caparrosa azul. El enfriamiento se verificaba con lentitud, y en este período se manifestaba la absorción con mayor energía.

El sistema no debe recomendarse, porque si bien es verdad que la temperatura de ebullición aumenta la cantidad de antiséptico inyectada, en cambio altera la constitución de la madera, quitándole principios esenciales para su conservación. Sin embargo, se emplea en algunos ferrocarriles, entre ellos varios del Holstein, para tra-

viesas de haya y aun de roble, pero no elevando la temperatura más que á 84° á lo sumo, y empleando el cloruro de zinc en lugar de la caparrosa azul.

Inmersión en caliente, después de secar las piezas en estufas.—Ya se ha dicho anteriormente la conveniencia de sumergir las piezas en agua dulce ó salada y secarlas después. La desecación en estufas se hace con mucha rapidez, porque el agua se vaporiza, y además presenta la ventaja de que dilatándose el aire que ocupa los poros del tejido, se le obliga á salir, si no totalmente, en cantidad considerable. Sumergiendo las maderas calientes en baños, que estén asimismo á una temperatura algo elevada, absorben más líquido en menos tiempo; pero es preciso aplicar el calor con cautela para que no se rajen las piezas.

La desecación en estufa y la inmersión, durante un plazo comprendido entre veinticuatro y cuarenta y ocho horas, en un baño de aceite de colta, á una temperatura de 100°, constituye uno de los procedimientos de Bethell, que se usa mucho en Inglaterra y que también se ha puesto en práctica en Alemania, en el camino de Aquisgrán á Dusseldorf.

Otro método seguido por Bethell consiste en colocar las piezas en un secadero, al que se dirigen los productos de la combustión; las maderas se secan, se impregnan de materias empireumáticas y se sumergen después en aceite hirviendo.

Ambos sistemas, y sobre todo el primero, están muy generalizados, en especial en los ferrocarriles ingleses.

PROCEDIMIENTO DE BOUCHERIE.

Descripción.—El procedimiento de Boucherie es, sin duda alguna, el más lógico de todos. El líquido, sometido á una pequeña presión, penetra en el machón por uno de sus extremos ó por el medio, según se verá más adelante; marcha á lo largo de los vasos del tejido, en virtud de la presión, de la capilaridad de los conductos y del vacío relativo producido por el mismo movimiento de la savia; y ésta y el aire que ocupaba los poros, son expulsados por la substancia antiséptica, que impregna las fibras y llena sus intervalos. Se comprende, pues, desde luego: 1.°, que la operación no podrá verificarse más que en piezas recién cortadas y sin descortezar; 2.°, que la desecación, que es tan favorable en los otros sistemas, sobre todo cuando se emplean antisépticos insolubles en el agua, como la creosota y el aceite de colta, sería un obstáculo casi insuperable en el método que se examina, porque el líquido, que se somete á una presión exigua, no puede penetrar en el tejido leñoso más que cuando está húmedo é impregnado de savia.

Boucherie empleó al principio el pirolignito de hierro, pero lo sustituyó pronto por la caparrosa azul, que vió experimentalmente que era más eficaz. Se prepara la disolución con la dosis de $\frac{1}{67}$ de sal, esto es, 15 kilogramos por metro cúbico, y se obtiene una presión de 1 kilogramo por centímetro cuadrado, colocando el depósito, *A* (figs. 132 y 133), que encierra el líquido, en un andamiaje de unos 10 metros de altura. Un tubo de plomo ó de cobre, *t*, *t*, *t*, arranca de la cuba, y corriendo por debajo de las piezas *P*, tendidas en el suelo, perpendicularmente á ellas, distribuye el líquido á cada una por el intermedio de un tubito de caucho *c*, *c*, que termina en un pequeño depósito cilíndrico, cuya altura puede ser tan pequeña como se quiera, pero que debe tener por base la casi totalidad de la sección transversal de la pieza, á fin de que la substancia inyectada lo sea en todos los canales vasculares.

En las maderas que no han de aserrarse para emplearlas, como sucede con los postes telegráficos, el depósito se forma con un disco de madera fijo á la pieza por un pasador de rosca, que oprime una trenza de cáñamo ensanchada hacia su medio (fig. 134), y colocada en la circunferencia de unión de la pieza y del disco, la cual forma la periferia de la pequeña capacidad cilíndrica. El tornillo puede reemplazarse ventajosamente con tres piezas de gancho *b*, *b*, *b*, que fijan el disco por el intermedio de un bastidor triangular (figuras 135, 136 y 137).

Las piezas que se pueden aserrar por la mitad, como las que se usan de ordinario para preparar traviesas, llevan el depósito en el medio; las figuras 133 y 138, representan en planta el conjunto. Un corte transversal de sierra deja intacto sólo un pequeño segmento del círculo de la sección; colocando una cuña debajo del segmento, se abre la cortadura, se introduce la cuerda de cáñamo, y al retirar

la cuña, la elasticidad de las fibras, continuas en la parte no aserrada, tiende á cerrar el corte, oprimiendo la cuerda. Un agujero inclinado abierto con barrena, recibe un tubito de madera *f* (fig. 139), cuyo extremo superior se une al tubo flexible, *d*, que arranca de la cañería general, *n*. Establecida la comunicación con la cuba, la savia aparece casi inmediatamente en los dos extremos, en el caso de estar el depósito en la mitad de la pieza, y en la cabeza libre si el depósito está limitado por la otra; al cabo de una hora á lo sumo, la savia sale mezclada con sulfato cúprico y poco tiempo después domina esta sal. Sin embargo, como la resistencia de la madera á la penetración no es uniforme, se prolonga la inyección, aun cuando el líquido salga casi puro, haciéndola durar de cuarenta y ocho á sesenta horas para el haya y el carpe, que son las especies que se prestan mejor á la absorción.

El sulfato cúprico que escurre por las cabezas de los machones, y además por la parte media cuando se opera en piezas aserradas, se recoge en regueras de sección triangular ó trapecial, que están dibujadas en las figuras 132, 133, 136 y 139. Estas regueras tienen la inclinación á propósito para conducir el líquido á un depósito situado por bajo del andamiaje (figs. 132, 135 y 138), desde el cual se eleva para utilizarlo á la cuba superior, *A* (fig. 132), por medio de una bomba aspirante.

Por último, las piezas no descansan directamente en el suelo, sino que se apoyan en carreras de madera, dispuestas en la forma que con claridad marcan las figuras.

Tal es, en resumen, el procedimiento de Boucherie, por más que en algunos casos se hayan admitido modificaciones de detalle. El autor del método fija en 5$^{kg.}$,5 de sal, por metro cúbico de madera de haya, la dosis de inyección.

Resultados obtenidos.—Los resultados obtenidos con este sistema, han sido muy variables. La administración belga lo ha abandonado por completo para la preparación de las traviesas de haya y carpe de los ferrocarriles del Estado; en otras partes, también, la duración de piezas inyectadas ha sido muy corta. En cambio, se pudieran citar muchísimos ejemplos, que atestiguan la bondad del procedimiento cuando se aplica bien.

Pero á pesar de ello, la incertidumbre que hay sobre su eficacia

práctica, su coste relativamente elevado, y la necesidad de operar con piezas recién cortadas y en rollo, han impedido que se extienda lo que hubiera podido esperarse. El precio á que sale la inyección es aún mayor si las piezas se han de escuadrar, por la necesidad de preparar todo el tronco; al aumento de coste contribuyen siempre, por otra parte, las pérdidas de sal, por más que se recoja y se haga volver á las cubas la que sale por las cabezas y por la parte media de los machones, según se ha indicado.

En la actualidad puede decirse que el sistema de Boucherie no se aplica más que á la preparación de postes y traviesas, cuando la línea está próxima á hayales.

INYECCIÓN POR EL VACÍO Y LA PRESIÓN EN VASOS CERRADOS.

Descripción.—Este procedimiento, que fué indicado por Bréant en el año de 1831, ha recibido desde esa fecha numerosos perfeccionamientos, conociéndose, por lo general, con el nombre de Blythe cuando se emplea la creosota como antiséptico, y con el de Legé y Fleury-Pironnet, cuando se usa el sulfato cúprico. No es muy justa esta última denominación, porque afirma Couche haber visto el sistema en plena actividad en Austria, en 1855, muchos años antes de haberse importado á Francia.

Se emplean como antisépticos la creosota y sus similares, el cloruro de zinc ó la caparrosa azul. En los dos últimos casos los aparatos y enseres necesarios para la inyección son los siguientes: 1.°, un recipiente ó larga caldera cilíndrica, terminada por un extremo en un casquete esférico y perfectamente cerrada por el otro, por medio de un obturador que ha de poseer suficiente resistencia, lo mismo que la caldera, para soportar presiones efectivas de 7 á 9 kilogramos por centímetro cuadrado; 2.°, vagonetas en que se apilan las piezas, y que se mueven en vías dispuestas de tal modo, que sean expeditas las cargas y descargas del recipiente; 3.°, una máquina de vapor, que suele ser una locomóvil; 4.°, bombas neumáticas é impelentes; y 5.°, las llaves y tubos necesarios para establecer ó interrumpir las comunicaciones. Introducidas las vagonetas en el cilindro, se hace llegar el vapor, que humedece las piezas, desaloja la savia y disuelve muchas substancias putrefactivas: haciendo comu-

nicar el recipiente con las bombas neumáticas, se produce un vacío parcial que desembaraza á las maderas del agua y del aire que encierran; en esta situación el tejido vegetal puede absorber fácilmente el antiséptico, que se hace llegar al cilindro, sometiendo todo el sistema, por medio de las bombas impelentes, á la presión que convenga.

Si se trata de inyectar creosota ó aceite de alquitrán, la acción del vapor de agua tiene que reemplazarse con una desecación previa en estufas (para las que ideó Blythe una disposición muy ingeniosa), porque la presencia de la humedad, aun en proporción muy pequeña, es un obstáculo para que penetre el antiséptico. Es indispensable calentar éste en el cilindro, á fin de que conserve su fluidez cuando la temperatura exterior es poco elevada; así es que subsisten los tubos de inyección de vapor, que se suele utilizar también para calentar moderadamente el depósito al aire libre, que contiene el aceite.

Cuando se hace uso de la creosota ó del cloruro de zinc, el recipiente es de palastro, pero para la inyección del sulfato cúprico es preciso hacerlo de cobre, lo que representa un gasto inicial de bastante consideración, tanto más cuanto que se necesitan dos cilindros para una producción continua; esta circunstancia limitó por mucho tiempo la aplicación del procedimiento con la caparrosa azul.

Bastan las ideas anteriores para que se comprenda la esencia del método: para estudiar con fruto los detalles de instalación, pueden consultarse la memoria publicada en 1868 en los *Anales de Puentes y calzadas,* por el Ingeniero Jefe Forestier, en que describe el taller montado para creosotar las maderas en las obras del puerto de Sables d'Olonne, y los artículos dados á luz en 1878 en los *Anales de la Construcción y de la Industria,* en que el Ingeniero del Cuerpo, D. Eusebio Estada, da á conocer los aparatos empleados por él para inyectar creosota en las traviesas de los ferrocarriles de Mallorca.

Ventajas é inconvenientes.—Comparado el procedimiento de inyección por el vacío y la presión con el de Boucherie, presenta aquel algunas ventajas. El tiempo transcurrido entre la corta y la preparación no tiene influencia sensible; las piezas labradas se inyectan lo mismo que las que no lo están, lo que evita la pérdida de un 25 por 100 de madera preparada, que se experimenta cuando hay que aserrar maderas inyectadas en rollo; y parece, por último, que

el corazón absorbe más antiséptico que cuando se aplica el método de Boucherie.

Sin embargo, en algunas ocasiones, la inyección de la caparrosa ó del cloruro de zinc ha producido malos resultados, debidos quizá á que se desorganice en parte el tejido, por las acciones sucesivas del vapor de agua, el vacío y la presión. La creosota, inyectada por el procedimiento de Blythe ha surtido, por lo general, buen efecto en construcciones marítimas, siempre que las piezas absorban la cantidad mínima que se consignó al tratar de este antiséptico.

Hoy día, el sistema más en boga para preparar traviesas de ferrocarriles, á lo menos en Francia y en España, es el que se ha descrito, usando unas veces el sulfato cúprico y otras la creosota. En las líneas de la Compañía del Norte no han tenido, sin embargo, buen éxito las traviesas preparadas de pino de las Landas, pues no han durado más que tres ó cuatro años; es difícil averiguar si el fracaso debe atribuirse á defectos del procedimiento, á mala calidad de la madera, ó á condiciones climatológicas; pero parece probable que haya consistido en que por falta de presión la absorción fuere demasiado superficial, toda vez que persona digna de todo crédito asegura haber observado que la capa inyectada tenía menos de un centímetro de grueso. La Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante, ha obtenido resultados aceptables: 1.°, inyectando de sulfato cúprico, en la proporción de 5kg.,5, por metro cúbico, las traviesas de abeto rojo del Norte; 2.°, creosotando, por el sistema de Blythe, las de pino de Segura y de Cuenca, en la proporción de 14 kilogramos por traviesa, que viene á representar de 140 á 150 por metro cúbico. En la actualidad está creosotando la misma compañía traviesas de abeto rojo del Norte, haciendo absorber 12 kilogramos á cada una. Para completar estos datos, suministrados por el Ingeniero D. Eduardo de Peralta, se indicará que la inyección de caparrosa azul sale mucho más barata que la de creosota; pues el precio de la primera es de 0ptas.,65, por traviesa, al paso que la segunda resulta á 1pta.,55, para el abeto rojo, y á 1,45 ó 1,50 para el pino.

La cantidad de sulfato cúprico absorbido por las piezas varía mucho con la naturaleza de la madera, cuando se emplea el procedimiento del vacío y la presión, en vasos cerrados. El Ingeniero naval Versignie consigna los siguientes resultados obtenidos.

CLASE DE MADERA.	Cantidad de sulfato cúprico absorbido por metro cúbico. — *Kilogramos.*	OBSERVACIONES.
Roble seco.......	2,834	El duramen sin inyectar.
Idem fresco......	0,643	Idem id., la albura escasamente.
Olmo seco.......	9,484	Inyección bastante uniforme.
Idem fresco......	4,816	Idem id. id.
Haya seca.......	8,189	Inyección completa en duramen y albura.
Idem fresca......	3,794	Idem id. id. id.
Chopo seco......	8,030	Inyección perfecta.
Idem fresco......	4,357	Idem id.
Fresno seco......	2,347	El duramen sin inyectar.
Acacia seca......	1,011	De difícil inyección.
Carpe seco.......	4,709	Inyección completa en duramen y albura.
Abedul seco......	4,007	Resultados diversos.
Pino silvestre seco.	13,174	Sólo la albura inyectada.
Idem rodeno id....	4,297	Idem id. id.
Idem del Norte id.	2,207	Idem id. id.
Castaño fresco.....	0,936	De difícil inyección.

COLORACIÓN, INCOMBUSTIBILIDAD Y PETRIFICACIÓN DE MADERAS.

Coloración.—Inyectando en las maderas, por cualquiera de los procedimientos explicados, substancias adecuadas, se comprende bien que podrán adquirir colores variados, sin que sea necesario desarrollar grandes presiones, porque para nada se requiere que la penetración sea muy profunda. El pirolignito de hierro tiñe de gris á las maderas; inyectando primero sulfato férrico y luego ferrocianuro potásico, en virtud de una reacción bien conocida, resultará el color azul propio del ferrocianuro férrico, variando su intensidad con la concentración de los líquidos absorbidos. Aparte de estas y otras sales, que se pueden usar para colorir maderas, una porción de materias tintóreas vegetales, como la *rubia*, son absorbidas con facilidad por el tejido, al que comunican sus colores. Sin embargo, la coloración por inyecciones se usa poco, y es lógico que así sea, porque como elemento decorativo no puede competir con la pintura.

Incombustibilidad.—Para disminuir la combustibilidad de las maderas, que es uno de los principales defectos de este material, se pueden inyectar substancias muy variadas. El sulfato sódico y los cloruros cálcico y magnésico, que se ensayaron con mal éxito como antisépticos, son sales delicuescentes, que impiden que se sequen por completo las maderas, haciéndoles conservar cierta elasticidad y flexibilidad; es claro, por consiguiente, que las piezas inyectadas con esas substancias han de resistir á la acción del fuego mejor que las no preparadas. Pero es claro que si la temperatura aumenta ó se conserva estacionaria algún tiempo, el agua de las sales se vaporizará, decrepitando éstas, y quedará la madera á merced de las llamas.

Multitud de cuerpos se han ensayado, si no para anular, á lo menos para disminuir la combustibilidad de las piezas, en caso de incendio. Los silicatos potásico ó sódico, son los de uso más extendido; las maderas que los absorben no arden, y sólo, si el calor es muy intenso, se carbonizan. Estos silicatos tienen además la ventaja de que no alteran la madera y pueden resistir á la intemperie. Para aplicarlos no se necesita recurrir á ningún procedimiento especial de inyección: basta dar varias manos de las sales desleídas en agua, del mismo modo que se dan las manos de color en las pinturas ordinarias, aguardando para extender una á que se seque la anterior. Produce buen resultado adicionar á los silicatos algo de arcilla ó polvo de ladrillo.

En Plymouth (Inglaterra) y en Chicago (Estados-Unidos), han surtido buen efecto los experimentos que se han hecho con una disolución de tungstato sódico, que se inyecta en caliente, y que no sólo hace á la madera relativamente incombustible, sino que le da una dureza comparable á la de la teca. Puede también reemplazarse el tungstato sódico con una mezcla de bórax y sal común.

Sainsbury recomienda para hacer incombustibles las piezas y aumentar su duración, que se las inyecte en frío y á una presión de 5 atmósferas, con un líquido de la composición siguiente:

Alumbre..	16	kilogramos.
Caparrosa azul................................	16	»
Bromuro y yoduro sódicos (en proporciones relativas arbitrarias)................................	2	»
Agua..	1.000	»

Petrificación.—Folbaci ha hecho conocer en Alemania un procedimiento de su invención para dar á la madera la dureza y resis-

tencia de la piedra, haciéndola á la vez impermeable é incombustible. Pretende el inventor que un fuego intenso no produce más efecto en las piezas preparadas, que carbonizarlas superficialmente, de suerte que en caso de incendio podrían los operarios transitar por ellas sin temor de que cediesen. De ser así, la preparación de las maderas que se emplean en la edificación urbana, se generalizaría con rapidez. He aquí la mezcla de substancias, que propone Folbaci:

Sulfato de zinc	5	kilogramos.
Potasa americana	2	»
Alumbre amoniacal	4	»
Manganesa	2	»
Ácido sulfúrico, á 60°	2	»
Agua pura	5	»

Se mezclan todos los ingredientes sólidos en una caldera, vertiéndose luego el agua á la temperatura de 45°; en cuanto aquellos se hayan disuelto se añade con lentitud y poco á poco el ácido sulfúrico. Para inyectar las maderas se colocan en una caja sobre un enrejado de hierro, dejando entre cada dos piezas consecutivas un hueco de 5 milímetros; se llena en seguida la caja con la disolución, que se hace hervir tres horas; transcurrido este tiempo se extraen las piezas, y una vez secas están en disposición de emplearse en construcciones civiles y navales, vagones, cureñas, pavimentos y, en particular, en todas las obras expuestas á incendios.

CARBONIZACIÓN SUPERFICIAL.

La *carbonización superficial* es el único medio de preparación de maderas que resta examinar. La influencia de la carbonización para conservar las piezas se ha reconocido de muy antiguo; hasta la gente del campo tiene la costumbre inmemorial de carbonizar la punta de los pies derechos que hincan en el suelo para hacer vallados y cercos de puertas.

Método de Lapparent.—Esta práctica se ha generalizado en las construcciones navales: en los astilleros se suele impregnar el casco de los barcos de substancias resinosas, como alquitrán ó brea, que se hacen arder sobre la misma madera, por medio de ramas encendidas de aulagas. En Francia y otros paises, los Ingenieros de la armada carbonizan las cuadernas y, en general, los forros de los buques, empleando el dardo inflamado de un soplete de gas de alumbrado, que se hace recorra toda la superficie. El señor de Lapparent, director de construcciones navales de la vecina República, ha extendido el sistema, demostrando la conveniencia de aplicarlo á los postes telegráficos y á las traviesas. El dardo del soplete está á una temperatura de 1.000 á 1.200°; se concibe, pues, que la madera experimente una desecación, una carbonización completa en cierta profundidad, y hasta una destilación, en un espesor mucho más grande. Los efectos serán, por consiguiente: 1.°, aumento de dureza y compacidad en las superficies de las piezas, que se harán menos sensibles á los agentes atmosféricos; 2.°, producción, á causa de la destilación que se efectúa en las capas más profundas, de una especie de alquitrán vegetal, que tiene, como la creosota, propiedades antisépticas; 3.°, destrucción de los fermentos por la temperatura á que se somete toda la pieza; y 4.°, formación de un enlucido ó revestimiento, que podría ser perjudicial si se aplicara á maderas húmedas, pero que es beneficioso cuando están secas, como sucede siempre que se sujetan á la carbonización.

No están, sin embargo, conformes con estos resultados muchas autoridades en la materia. De los experimentos de Duhamel y otros varios, se deduce que la carbonización no aumenta nada, ó aumenta muy poco, la duración de las maderas; por otra parte, el coronel Émy, verdadera ilustración en todo cuanto se refiere á carpintería, cree que la carbonización no puede producir más efecto que el de impedir el contacto inmediato de la tierra húmeda con la madera no carbonizada, y que, en cambio, presenta el inconveniente de destruir, hasta cierta profundidad, un material bueno que tardaría mucho tiempo en pudrirse. En lugar de carbonizar las piezas que hayan de enterrarse, cree preferible Émy dejarlas intactas y rodearlas de substancias malas conductoras de la humedad, como arena, cantos silíceos, escorias de fragua ó de vidrio, etc.

Á pesar de todo, la carbonización se generaliza cada vez más, y no podía menos de pensarse en sustituir el aparato primitivo, que supone la existencia de una distribución de gas, con otro que no exija este combustible. El director de la fábrica de gas de París, Hu-

gon, ha ideado el que se representa en la figura 140, en el que se emplea carbón de piedra para producir la llama, y que tiene la disposición general de una lámpara de esmaltar. Un fuelle S, parecido al de las fraguas ordinarias, envía aire al depósito R, que se dirige por el tubo T al hornillo F, lleno de hulla candente; la llama sale por el orificio A y carboniza la superficie de la pieza t, que se apoya en rodillos r, colocados en el caballete s. Un depósito de agua, ρ, envía al tubito a algunas gotas de agua, que se descomponen por la hulla, cuando ésta deja de dar llama; se producen así hidrógeno y óxido de carbono, gases muy combustibles que arden con mucha llama. El hornillo tiene una puerta, P, para introducir el carbón, y está sostenido por una columna C, que permite elevar y hacer girar á voluntad el aparato, por medio de una palanca, L, equilibrada con contrapesos; así se consigue dirigir el dardo inflamado al punto que convenga.

La carbonización de las traviesas sale mucho más barata que todas las demás preparaciones que se han explicado.

Método de Hutin y Boutigny.—En 1848 propusieron Hutin y Boutigny un método para conservar las maderas, que aunque no se ha adoptado, conviene conocerlo, porque es racional el principio en que se funda. Se describe aquí, por tener algunos puntos de contacto con la carbonización.

Las maderas, dicen los inventores, se destruyen por la acción incesante de la humedad y el oxígeno del aire, gérmenes que penetran hasta el duramen por absorción y filtración. Su presencia en la madera y su acción continua en la fibra elemental, desarrollan una combustión lenta y espontánea. Esta penetración de los elementos destructores se efectúa exclusivamente por las cabezas de las piezas, y en el sentido natural de la circulación fisiológica. Resulta de estos diversos hechos que, si se consiguiera substraer las maderas á las acciones desorganizadoras que se han indicado, se conservarían por tiempo indefinido; y en su virtud, si se cierran herméticamente los extremos absorbentes de las piezas, se hará en favor de su duración lo que de consuno reclaman los principios científicos, la observación y la experiencia.

El procedimiento se reduce en definitiva á secar las cabezas de las piezas, á neutralizar sus propiedades higrométricas con un principio de combustión, y á evitar toda comunicación con el exterior, por medio de un betún, que penetre entre las fibras. Las operaciones que hay que practicar son: 1.ª, sumergir las cabezas en un carburo cualquiera de hidrógeno, por ejemplo, en aceite de esquisto, que penetra bastante en poco tiempo; 2.ª, prender fuego al carburo y, en el momento que se apague la llama, introducir las piezas, verticalmente y hasta la altura de algunos centímetros, en una mezcla caliente de pez, alquitrán y laca, que es ligeramente absorbida, y que forma en cada cabeza una especie de cierre hermético, relativamente inalterable; 3.ª, embrear ó alquitranar las piezas, en toda su extensión, por los procedimientos ordinarios.

INFLUENCIA DEFINITIVA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACIÓN.

Nada concreto puede decirse sobre la influencia definitiva de los procedimientos de conservación en la duración de las maderas, porque el estudio detenido de lo que precede habrá hecho comprender que el problema no está aún resuelto: no sólo no es posible asegurar qué sistema de preparación conviene en cada caso, sino que un mismo método, en condiciones al parecer idénticas, da excelentes resultados unas veces, mientras que otras no produce ventajas positivas. Así lo reconocieron los Ingenieros alemanes reunidos en Dresde, al observar los datos contradictorios suministrados por las compañías de caminos de hierro, respecto á la duración de traviesas de diversas clases de madera, ya sin preparar, ya preparadas por diferentes procedimientos. La opinión de aquellos Ingenieros es que las duraciones de las traviesas empleadas al natural ó *bien preparadas*, sin precisar el sistema, son, por término medio, las que se consignan en el siguiente estado:

ESPECIE ARBÓREA.	DURACIÓN MEDIA DE LAS TRAVIESAS	
	No preparadas. *Años.*	Bien preparadas. *Años.*
Roble.	14 á 16	20 á 25
Abeto.	7 á 8	12 á 14
Pino.	4 á 5	9 á 10
Haya.	2,5 á 3	9 á 10

Los guarismos anteriores se refieren á Alemania; es evidente que no podrían aplicarse á España, pero sí pudiera admitirse que el aumento relativo de duración fuese próximamente el mismo y aceptar, por tanto, que las traviesas de roble, bien preparadas, duran un 50 por 100 más que las que se emplean al natural; las de abeto un 75, las de pino un 111 y las de haya un 245 por 100.

Se terminará cuanto se refiere á conservación de maderas, consignando, en el cuadro que se estampa á continuación, el resultado de los últimos experimentos hechos por la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante sobre duración de traviesas de pino:

CLASES DE TRAVIESAS.	Duración media. *Años.*	OBSERVACIONES.
Pino de Segura, Cuenca y Soria, sin sangrar ni preparar.................	3 á 4	En 7 ½ años se pudrieron por completo.
Pino de Segura, sin sangrar é inyectadas de caparrosa azul...............	6	En 9 ½ años se pudrieron el 81,77 por 100.
Pino de las Landas, sangradas é inyectadas de caparrosa azul...........	6	En 9 ½ años se pudrieron el 77 por 100.
Pino de Segura, sin sangrar ó inyectadas de creosota.	10	En 7 ½ años se pudrieron el 35,80 por 100.

LABRA DE MADERAS.

Maderas del comercio.—Antes de explicar las operaciones á que se someten las piezas de madera, desde el momento en que se corta el árbol, es preciso saber las formas y dimensiones que tienen las que de ordinario se expenden en el comercio, y las clasificaciones que de ellas se hacen.

Las maderas, según la aplicación á que se destinan, reciben diversos nombres, tales como *maderas de construcción civil*, *piezas de marina*, *maderas industriales, etc.*, comprendiendo entre las últimas las dedicadas á ebanistería, carretería, tonelería, etc.

Según la forma que se da á las piezas, se distinguen las clases siguientes: *maderas en rollo*, *rollos* ó *rollizos*, que son troncos con corteza ó puramente descortezados, de apariencia cilíndrica; *maderas escuadradas*, *enterizas* ó *de hilo*, que están labradas por sus cuatro caras, no se han dividido con la sierra y conservan, por tanto, el corazón del árbol; *maderas de raja*, que se obtienen por desgaje ó hendimiento, en el sentido longitudinal de las fibras, como sucede, por ejemplo, con las duelas; y *maderas de sierra* ó *aserradizas*, que se preparan con aquel instrumento, y provienen, ya de dividir los troncos, ya piezas escuadradas.

MARCOS.—En el monte se suelen vender las piezas en pie ó en rollo después de apeadas; en los almacenes se expenden escuadradas, con arreglo á dimensiones más ó menos constantes, cuyo conjunto constituye el *marco*. Para cada pieza se consigna su longitud, y los dos lados de su sección transversal ó *escuadría*, que se llama *tabla* ó *ancho* el mayor, y *canto*, *grueso* ó *espesor* el más pequeño. En los rollos se sustituyen estos últimos datos por el diámetro ó la circunferencia de la sección recta. Tanto para las piezas escuadradas como para los rollos, suelen medirse las dimensiones transversales al tercio de su longitud, á contar del *raigal* ó extremo más grueso.

Las piezas de marina reciben diversos nombres, que no se detallarán, y se sujetan á las dimensiones de una sola *tarifa* en todo el reino; pero las maderas de construcción civil, por el contrario, se presen-

tan en los mercados con gran diversidad de dimensiones, que ni aun para una misma provincia son constantes, antes bien varían sin limitación precisa, recibiendo asimismo denominaciones muy diferentes. Por regla general, puede considerarse el *marco castellano* como uno de los tipos más usados, y que está aceptado en muchas provincias, salvo algunas variaciones en el tamaño de las piezas ó exclusión de cierto número de éstas, por efecto de necesidades ó costumbres locales. Sirven de fundamento en la mayoría de los marcos, para la clasificación de las piezas, la longitud de las mismas y las dimensiones de su escuadría. El *marco valenciano* prescinde, sin embargo, de las dimensiones lineales para clasificar sus tipos; adopta como unidad de medida el volumen, y dentro de uno determinado admite variaciones en la escuadría y en la longitud, presentando, por consiguiente, un carácter de originalidad que no tienen los demás marcos. El valenciano permite aprovechar la mayor cantidad posible de madera, porque dentro de cada clase hay una gran libertad de dimensiones; así, en el caso que una pieza no llegue al tipo para que fué labrada, por defecto de la madera ó por cualquiera otra causa, la pérdida se reduce á la que resulte de clasificarla en el tipo inmediato inferior, sin necesidad de dividirla para sacar de ella cierto número de piezas menores, como sucede en los demás marcos. Aquí sólo se dan á conocer, en los estados que van á continuación, el castellano ó de Cuenca y el segoviano ó de Guadarrama, que son los más usados en el centro de España; la reseña de todos los demás puede verse en la obra de D. Eugenio Plá y Rave, titulada: *Marcos de maderas para la construcción civil y naval, con el precio que tienen éstas, y otros productos forestales en las principales provincias de España*. Los siguientes marcos de Cuenca y Guadarrama se han extractado de la misma obra:

Cuenca.—MARCO CASTELLANO.

NOMBRES Y CLASES DE LAS PIEZAS.	MEDIDAS ANTIGUAS.			MEDIDAS MÉTRICAS.			Número de piezas que componen un cargo.
	Largo. — *Pies.*	Tabla. — *Dedos.*	Canto. — *Dedos.*	Largo. — *Metros.*	Tabla. — *Metros.*	Canto. — *Metros.*	
MADERA DE HILO.							
Media vara......	30	24	20	8,36	0,42	0,35	»
Pie y cuarto.....	30	20	16	8,36	0,35	0,28	»
Tercia.	30	16	12	8,36	0,28	0,21	»
Cuarta.	30	12	12	8,36	0,21	0,21	»
Sesma.	30	12	9	8,36	0,21	0,15	»
Vigueta..........	22	11	8	6,13	0,19	0,14	»
Media vigueta....	12	11	8	3,34	0,19	0,14	»
Doblero de 18....	18	10	8	5,02	0,17	0,14	»
Doblero de 16....	16	8	6	4,46	0,14	0,10	»
Doblero de 14....	14	7	5	3,90	0,12	0,08	»
Medio doblero. ..	10	10	8	2,79	0,17	0,14	»
MADERA DE SIERRA.							
Tirante de 18.....	18	7	5	5,02	0,12	0,08	18
Tirante de 15. ...	15	7	5	4,18	0,12	0,08	22
Tirante de 12.....	12	7	5	3,34	0,12	0,08	27
Medio tirante. ...	7 1/2	7	5	2,09	0,12	0,08	»
Tabla alcaceña...	9	24	3	2,51	0,42	0,05	25
Tabla portaleña...	9	20	2 1/2	2,51	0,35	0,04	30
Tabla de chilla...	7 1/2	16	2	2,09	0,28	0,03	60
Tabla de ripia. ..	6 1/4	12	1 1/2	1,76	0,21	0,02	120

NOTA. La vara tiene 48 dedos.

Segovia.—Marco de Guadarrama.

MADERA DE PINO. — NOMBRES Y CLASES DE LAS PIEZAS.	MEDIDAS ANTIGUAS.			MEDIDAS MÉTRICAS.			Volumen de la pieza.
	Largo. — *Pies.*	Tabla. — *Dedos.*	Canto. — *Dedos.*	Largo. — *Metros.*	Tabla. — *Metros.*	Canto. — *Metros.*	— *Mets. cúbs.*
MADERA DE HILO.							
Media vara doble	12 á 30	33	24	3,34 á 8,36	0,575	0,418	»
Media vara sencilla	12 á 30	24	16	3,34 á 8,36	0,418	0,279	»
Pie y cuarto doble	12 á 30	29	20	3,34 á 8,36	0,505	0,348	»
Pie y cuarto sencillo	12 á 30	20	14	3,34 á 8,36	0,348	0,244	»
Tercia	12 á 30	16	12	3,34 á 8,36	0,279	0,209	»
Sesma	25 ó más.	13	9	6,97	0,226	0,157	0,247
Vigueta	22	13	9	6,13	0,226	0,157	0,248
Media vigueta	12	13	9	3,34	0,226	0,157	0,148
Madero de á seis	18	10	8	5,02	0,174	0,139	0,146
Medio madero de á seis	10	10	8	2,79	0,174	0,139	»
Madero de á ocho	16	8 y 9	6	4,46	0,139 y 0,157	0,104	»
Madero de á diez	14	7 y 8	5	3,90	0,121 y 0,139	0,087	»
Machón	6 á 15	24 ó más.	24 ó más.	1,67 á 4,18	0,418	0,418	»
Troza de tercia de á 9	9	16	12	2,51	0,279	0,209	0,146
Troza de idem de á 7	7	16	12	1,95	0,279	0,209	0,143
Troza de ripia	7	12	12	1,95	0,209	0,209	0,085
MADERAS DE SIERRA.							
Alfarjía ó alfajía	El del machón ó troza respectiva.	8	6	»	0,139	0,104	»

MADERA DE PINO. — NOMBRES Y CLASES DE LAS PIEZAS.	MEDIDAS ANTIGUAS.			MEDIDAS MÉTRICAS.			Volumen de la pieza.
	Largo. — *Pies.*	Tabla. — *Dedos.*	Canto. — *Dedos.*	Largo. — *Metros.*	Tabla. — *Metros.*	Canto. — *Metros.*	— *Mets. cúbs.*
Media alfarjía	El del machón ó troza respectiva.	6	4	»	0,104	0,070	»
Terciado	Idem.	6	3	»	0,104	0,052	»
Portada	9 en adelante.	24	3	2,51	0,418	0,052	»
Portadilla	Idem id.	20	3	2,51	0,348	0,052	»
Tabla de gordo	7 á 9	16	2	1,95 á 2,51	0,279	0,035	»
Tabla de pulgada	7 á 12	16	1 $^1/_2$	1,95 á 3,34	0,279	0,026	»
Camera	7	14	1 $^1/_2$	1,95	0,244	0,026	»
Tableta	7 á 9	16	1	1,95 á 2,51	0,279	0,017	»
Hoja	7 á 9	16	$^3/_4$	1,95 á 2,51	0,279	0,013	»
Ripia	7 á 12	12	$^3/_4$	1,95 á 3,34	0,209	0,013	»

NOTAS. 1.ª El volumen señalado á la sesma se refiere á la de 25 pies de longitud.

2.ª En la media vigueta se admite una escuadría algo menor.

3.ª Los machones y trozas tienen tamaños variables, pero la menor dimensión transversal de los primeros es de 24 dedos, pues cuando es más pequeña se clasifica la pieza como troza.

4.ª Se llama *docena* de alfarjías, medias alfarjías ó terciados, al conjunto de piezas cuya longitud total suma 108 pies; la *docena* de las demás tablas está formada por el número de piezas que en conjunto hagan 84 pies de longitud.

5.ª Las maderas de hilo se ajustan por pies lineales ó por piezas; las de sierra por docenas, á excepción de las portadas y portadillas, que se venden por pies lineales.

6.ª Hay también *tablas de chilla*, *cofreras*, etc., pero se usan poco.

Operaciones que se estudiarán en la labra de maderas.—Conocidas ya las formas y dimensiones de las maderas del comercio, se explicarán sucesivamente los métodos que se usan para *desmochar*, *trocear* y *rajar* los troncos; para *escuadrar* y *aserrar* las piezas, y para *encorvar* las maderas rectas. Se dirán, además, breves palabras acerca de las transformaciones que tienen que sufrir las piezas escuadradas ó rollizas hasta colocarlas en obra.

DESMOCHE, TROCEO Y HENDIMIENTO.

Desmoche y troceo.—Apeados los árboles por los procedimientos que se describieron, se *desmochan*, es decir, se quitan á los troncos todas las ramas gruesas (1), por medio del *hacha de bosque* ó *de leñador*, ó de la *sierra trocera*, que se emplea asimismo para cortar después el machón en trozos de diversas longitudes, cuya operación recibe el nombre de *troceo*.

La *sierra trocera* (fig. 141) está compuesta de una lámina de acero, armada de dientes de formas muy variadas y provista de dos mangas ó empuñaduras para manejarla. El *hacha de leñador* (fig. 142) es corta y gruesa, de filo curvo y con mango de madera.

Hendimiento.—El *hendimiento* del tronco tiene por objeto rajarlo en sentido longitudinal; se verifica la operación por medio de cuñas de hierro ó de madera dura, que, golpeadas con mazos, se hacen penetrar en sentido de la dirección de las fibras y de los radios medulares. Para que se puedan rajar los troncos, es preciso que sean de fibra recta y que estén cortados en trozos de pequeña longitud. Las maderas resinosas, como el pino y el pinabete, son las que se prestan mejor: entre las duras, la de haya es la única rajadiza; la encina, el olmo, etc., se hienden con mucha dificultad. Para dirigir el hendimiento con exactitud, y evitar que salten astillas cuando son árboles de gran diámetro, se introducen las cuñas á la vez, á lo largo de dos generatrices del tronco diametralmente opuestas; en todos los casos se puede fijar exactamente la dirección por medio de taladros

(1) El desmoche de los árboles no se hace nunca antes de la corta, porque las ramas sirven para amortiguar la violencia de la caída.

que atraviesen el árbol, pasando por el corazón; el número de taladros debe ser tanto mayor, cuanto más difícil de hender sea la madera.

Se pueden también rajar los troncos con mucha regularidad, empleando substancias explosivas. Para ello se hace con una barrena á lo largo del rollo, y siguiendo la línea por la que se ha de practicar el hendimiento, una serie de agujeros que deben llegar hasta el corazón del árbol, y que distan entre sí de $0^m,50$ á 1 metro; se coloca en ellos una pequeña carga de pólvora, cuyo peso, así como la distancia entre los pistoletes, dependen del diámetro de la pieza y de la tenacidad de sus fibras; se tapa en seguida cada agujero con una clavija que se introduce golpeándola con un mazo de madera, habiendo tenido antes cuidado de quitar á lo largo de cada clavija un pequeño segmento para dejar un oído que se llena de pólvora. Un reguero de esta misma substancia, de suficiente longitud para que los operarios tengan tiempo de retirarse, y á que se prende fuego con un trozo de yesca, que arde con lentitud, hace saltar á la vez todos los pistoletes. El árbol se hiende exactamente en dos partes, que se pueden subdividir luego del mismo modo.

ESCUADRACIÓN.

La *escuadración* tiene por objeto sacar de un tronco una pieza de forma generalmente prismática, de modo que se desperdicie la menor cantidad posible de madera, y que la escuadría sea una de las comprendidas en el marco de la localidad. Se puede hacer la escuadración de dos maneras diferentes: *por medio del hacha* y *de la sierra*, siendo preciso distinguir en ambos casos que las piezas sean *rectas* ó *curvas*. En todos ellos, la escuadración puede dividirse en tres operaciones principales, que son: 1.ª, colocación conveniente del tronco; 2.ª, trazado de los datos necesarios sobre el machón para determinar la forma de la pieza que se trata de obtener; y 3.ª, labra de la pieza ya definida.

Escuadración con hacha, de piezas rectas.—COLOCACIÓN CONVENIENTE DEL TRONCO Y TRAZADO DE LOS DATOS.—Se coloca el tronco sobre *cárceles* ó *durmientes* de madera, que son piezas rolli-

zas ó escuadradas, *B* (fig. 145), enterradas en parte, para darles más solidez, y cortadas en la parte superior, como se ve en el dibujo. Se fija el tronco, *A*, por medio de cuñas, *C;* se traza en su base menor el mayor rectángulo de marco que se pueda inscribir en la sección circular limitada por la albura, y en seguida se procede á dibujar en la otra base un rectángulo igual y semejantemente dispuesto, de tal manera, que ambos determinen las dos bases de un prisma recto inscrito en el tronco. El trazado del segundo rectángulo se puede hacer de los dos modos siguientes: 1.° Una vez marcada la primera sección, se aplica á uno de sus lados una regla, fijándola por medio de clavos; hecho esto, en el centro de la otra sección del tronco se coloca un clavo pequeño, y un operario hace girar el borde de una regla alrededor de este clavo como eje, hasta que esté en el plano de la primera, lo que se reconoce dirigiendo una visual desde una distancia conveniente y viendo si se confunden los bordes de las reglas; obtenida la coincidencia, se traza el diámetro correspondiente, que sirve para determinar la posición de la otra sección de la pieza. Claro es que se puede escoger como línea de referencia una diagonal ú otra recta cualquiera. 2.° En un vértice de la primera sección se fija un clavo al cual se ata el hilo de una plomada, se hace girar entonces el tronco en las cárceles hasta que el hilo pase por el vértice opuesto y se aprietan las cuñas, de modo que el machón quede completamente inmóvil; se traslada el operario á la otra sección, y haciendo que la plomada pase por el centro, señala en aquella dos puntos que determinen el diámetro marcado por la dirección del hilo: basta entonces trazar otro diámetro perpendicular á este último, y se tienen datos más que suficientes para que quede definida la segunda sección. Si en vez de haber tomado el diámetro que une dos vértices, se hubiera elegido el paralelo á dos lados opuestos, resultaría la ventaja de poder comprobar con otra plomada que coincidiese con uno de ellos, si el tronco había experimentado algún movimiento.

Verificadas las operaciones anteriores, se procede á señalar la intersección del plano correspondiente á la cara plana que se va á labrar con la superficie tronco-cónica que limita el machón, lo que se consigue prolongando (fig. 144) los lados mm', nn', mn, $m'n'$, hasta que encuentren á la superficie en los puntos q, q', p y p', y de una

manera análoga en la otra sección; después se labran entre los puntos p y q, p' y q', etc., pequeñas fajas planas, *R*, quitando la corteza; en seguida, con una cuerda empolvada y aplicándola entre los puntos (M, M'), (M, N'), (M_1, M') y (M_1, N'), se marcan las cuatro aristas $(MM, M'M')$, $(MM, N'N')$, $(M_1M_1, M'M')$ y $(M_1M_1, N'N')$, cuando se exige mucha exactitud; pero, en general, basta trazar dos aristas que estén en una misma cara de la pieza.

Labra de la pieza.—Obtenidos los datos necesarios para labrar la pieza, se practican con el hacha entalladuras, *S* (1), cuyos bordes se apoyen en las aristas, y se comprueba por medio de la plomada si están todas en un mismo plano, bastando ya, cuando se ha conseguido este resultado, cortar con el hacha los segmentos que quedan entre las hendeduras. De este modo se obtiene una superficie bastante irregular aún, que se iguala con la *azuela* (fig. 145), ó con el *hacha de carpintero* (fig. 146). Una vez que se han escuadrado las dos primeras caras, se hace girar el machón en las cárceles y se fija de análoga manera para labrar las otras dos.

Escuadración con hacha, de piezas curvas.—Cuando de un tronco curvo se quiere sacar una pieza también curva, se da á ésta de ordinario la forma de una superficie limitada por cabezas rectangulares, por dos caras planas y otras dos cilíndricas de mayor ó menor curvatura. La escuadración se principia siempre por las caras planas, colocando al efecto el tronco (fig. 147) sobre las cárceles, de modo que quede convexo por la parte superior; después de haber trazado los rectángulos de las cabezas de la pieza por uno de los métodos anteriores, se hace que los planos de las caras que se van á labrar sean verticales, por medio de dos plomadas que pasen por las líneas Pp y $P'p'$; en seguida, en la intersección del tronco y el plano que determinan los dos hilos, se marcan con clavos varios puntos, a, b, c..., que sirven, una vez labrada la faja plana, *R*, para señalar por partes ab, bc, cd, etc., y con una cuerda empolvada, la curva intersección del plano de la cara con la faja *R*, curva que, como se ve, no se puede marcar de un solo trazo por la imposibilidad de hacer vibrar la cuerda á causa de la forma del tronco. Practicando en-

(1) En la figura se han marcado las entalladuras, suponiendo que, después de practicadas, se ha hecho girar el machón 90°.

talladuras verticales se concluye la labra de las caras planas, como cuando se trata de piezas rectas.

Respecto al trazado de las otras aristas, efectuándose en un plano ya labrado, se practica por medio de cerchas.

Escuadración con sierra.—Se procede como en los casos anteriores, en cuanto al trazado de datos en el sólido; pero en lugar de quitar á hachazos las *cachas* ó *costeros*, es decir, los segmentos exteriores del tronco, se sacan de una sola pieza, aserrándolos con los aparatos que se describirán al tratar en general del aserramiento de maderas.

La escuadración con sierra es más cara que la que se ejecuta con hacha: de que compense ó no el valor de los costeros obtenidos con la sierra, el exceso de gasto que lleva consigo este método, dependerá principalmente el que se elija uno ú otro para efectuar la escuadración.

ASERRAMIENTO DE MADERAS.

El *aserramiento* de las maderas puede hacerse á brazo ó mecánicamente, por medio de sierras rectas, circulares ó sin fin. La operación se practica de distinto modo en estos diferentes casos.

Aserramiento á brazo.—Cuando se quiere verificar el aserramiento á brazo, se principia por marcar en el tronco, de una manera análoga á la descrita al hablar de la escuadración, las trazas de los diversos planos de división. En el caso que el madero tenga pequeñas dimensiones, el aserramiento se verifica por un solo hombre, que sujeta la pieza con la mano izquierda y hace mover con la derecha la sierra ordinaria ó *de mano*. Cuando el madero es de mayor tamaño, se apoya en unos caballetes, llamados *burros*, bastante elevados, para que un hombre pueda colocarse debajo; y después, por medio del instrumento denominado *sierra de largo* ó *bracera* (fig. 148), se opera la división, haciendo avanzar la herramienta en sentido de los planos determinados. La sierra bracera se maneja ordinariamente por dos ó tres hombres: consiste en una lámina de acero, armada de dientes, tanto más largos y agudos cuanto menos dura sea la madera que haya que aserrar; lleva dos mangos de madera, que sirven de empuñaduras. Á veces se usan sierras braceras montadas en un bastidor; su forma es entonces muy parecida á la de la sierra de mano, pero de mayores dimensiones. Cuando se emplean tres hombres, se colocan siempre dos debajo y uno encima del burro; para facilitar el trabajo de la herramienta, en cuanto principia á experimentar resistencia, se introduce en la aserradura una cuña que hace ensanchar las paredes y evita las vibraciones de las partes aserradas.

Aserramiento mecánico.—Las máquinas de aserrar son de hoja *recta, circular* ó *sin fin*.

Sierras rectas.—Se componen, por lo general, de un sólido bastidor, que se mueve á lo largo de ranuras verticales ú horizontales, y al que van unidas una ó varias hojas de sierra. Se comunica un movimiento alternativo al bastidor, por diversas combinaciones mecánicas, entre las cuales una de las más empleadas es una biela movida por un árbol acodado ó por un excéntrico. El mismo árbol suele poner en movimiento dos ó más bastidores, con objeto de utilizar la acción descendente de los unos para la subida de los otros.

La pieza que se quiere aserrar se fija á una carrera ó apoyo móvil, que se empuja contra la hoja, á medida que ésta va mordiendo; en algunas ocasiones la máquina misma hace mover el apoyo, ya por medio de un tornillo, ya de una cremallera, que engrana con un piñón dentado. La figura 149 ofrece un ejemplo de esta última combinación.

Sierras circulares.—Las sierras de hojas circulares son más sencillas. La sierra, compuesta de una hoja delgada de acero, perfectamente plana, de espesor uniforme, y armada en su periferia de dientes más ó menos agudos, pero todos muy iguales, está montada en un eje que recibe un movimiento de rotación bastante rápido. Próximamente la mitad de la circunferencia de la sierra sobresale por la parte superior de un banco sólido, en el que se hace deslizar, apoyándola en guías laterales, la pieza que se va á aserrar (fig. 150).

Las mayores sierras circulares destinadas á cortar piezas de grueso algo considerable, no suelen pasar de $0^m,58$ de radio; cuando se emplea sólo una sierra, y la pieza tiene más espesor, hay que cortarla en dos veces. Se asierra primero la pieza hasta una profundidad un poco mayor que la mitad de su grueso, y después se invierte para concluir de dividirla en todo el espesor. En los grandes talleres se evita esta maniobra, colocando dos sierras de igual grueso y diámetro en un mismo plano vertical, como indica la figu-

ra 151; esta disposición permite aserrar de una vez árboles de dimensiones poco comunes.

Brunnel ha ideado sierras circulares que tienen hasta $1^m,50$ de diámetro, pero que no sirven más que para aserrar chapas delgadas. Una sierra de esta especie se compone de un disco de metal cuyo espesor puede ser mucho mayor que el necesario para impedir que se doble; este disco está montado en el extremo de un árbol que no lo atraviesa. Su borde, terminado en bisel en la cara por que se une al eje (fig. 152), lleva en la otra una hoja muy delgada, formada de varias piezas que constituyen una corona ancha y plana, cuya circunferencia exterior está dentada. En cuanto la sierra ha penetrado hasta cierta distancia en la pieza de madera, la chapa que se desprende, salva el grueso del disco y se encorva al encontrar al árbol, sin que resulte ningún obstáculo para la buena marcha del aserramiento. Cuando éste se hace á máquina, basta marcar las trazas de los planos de división en una de las cabezas de la pieza; la máquina hace lo demás y la regularidad de la operación depende tan sólo del esmero con que esté construído el aparato.

Sierras de rodear ó contornear.—Las sierras rectas y circulares que se han descrito, no pueden aplicarse más que para cortar maderas al hilo, pero no pueden emplearse en el momento que hay que aserrar piezas delgadas, á lo largo de líneas curvas, que formen contornos más ó menos complicados. La sierra de Périn, que se dió á conocer en la Exposición universal de París de 1867, y que se representa en la figura 153, resuelve perfectamente el problema. Redúcese á dos poleas de eje horizontal, guarnecidas de caucho, y montadas en un sólido bastidor de hierro fundido, en las cuales se arrolla una cinta de acero estrecha y delgada, que constituye la hoja. Una de las poleas puede colocarse á diferente altura para que sea fácil cambiar la cinta ó regular su tensión. Una locomóvil actúa en una de las dos poleas, consiguiéndose que la sierra adquiera una gran velocidad: á cierta distancia del suelo, la cinta atraviesa un tablero unido al bastidor, colocado entre las dos poleas y que, por lo general, se puede inclinar más ó menos; las piezas en las que previamente se ha marcado la línea que ha de seguir la aserradura, se sitúan encima del tablero, y un operario las presenta á la acción de la herramienta, de suerte que siga ésta el contorno del dibujo. Por este procedimiento se ejecutan en un instante y con precisión asombrosa los cortes más complicados, pero es preciso procurar que la lámina de acero no sea gruesa ni ancha, pues de lo contrario los resultados no son satisfactorios.

Preparación de maderas de sierra.—Fácilmente se concibe que de una viga ó un machón se pueden sacar maderas de sierra de muy diversas maneras, pero no todas cumplen del mismo modo con los requisitos que se exigen para una buena división, pues no sólo se trata de obtener de un árbol el mayor producto posible, sino que hay que hacer de modo que cada una de las piezas que se extraigan esté en las mejores condiciones. Es imposible dar reglas generales respecto al primer punto, porque la combinación más ventajosa, en cuanto se refiere al valor en venta de los productos del aserramiento, depende, como es natural, del precio relativo en la localidad de las piezas de diversos marcos. En cuanto al segundo punto, será útil consignar algunas observaciones. Supóngase que se trata de aserrar un tronco, como indica la figura 154, que representa la sección transversal: si se traza en esta sección la dirección de los radios medulares, desde luego se reconoce que, exceptuando la pieza central, *A*, todas las demás están cortadas por los radios, de suerte que contienen mayor número de ellos en el lado más próximo al centro. Como quiera que el tejido que rellena los radios es la parte más higrométrica de las maderas, resulta de esta disposición que las variaciones de sequedad y humedad ocasionarán contracciones ó dilataciones desiguales en las dos superficies, y que bajo la influencia de estas variaciones, las piezas aserradas se encorvarán, ya en un sentido, ya en otro (fig. 155). Este inconveniente, muy grave en ciertos casos, va acompañado de otro que no lo es menos; en efecto, la disposición de los radios medulares es tal, en la mayor parte de las piezas, que las variaciones higrométricas se dejarán sentir sobre todo en dirección de su ancho, en la que son mucho más sensibles y peligrosas que en cualquiera otra, pues ocasionan á menudo hendeduras ú otros desperfectos en los entablonados. Si los radios medulares fuesen próximamente paralelos al ancho de las tablas, como en la pieza *A* (figs. 154 y 155), ó se distribuyeran regularmente á derecha é izquierda del plano que pasa por el medio de la pieza, como en la *B* de la figura 156, se evitarían estos inconvenientes, pues, por una

parte, las variaciones higrométricas se harían más perceptibles en sentido del grueso, produciéndose deformaciones menos aparentes en la mayoría de los casos, y, por otra, repartiéndose con uniformidad las variaciones en las dos caras, tendería la pieza á conservar la forma plana.

Aserramiento por los radios medulares.—Fundándose en las observaciones anteriores, y para obtener en cierta clase de obras el mayor número de piezas que satisfagan á las condiciones indicadas, se practica á veces el llamado *aserramiento por las mallas ó por los radios medulares*, en el cual los planos de división se dirigen de la circunferencia al centro (fig. 156). Á pesar de las ventajas indiscutibles que presenta el aserramiento por las mallas, desde el punto de vista de la bondad de las piezas que produce, se emplea muy poco, tanto á causa de la mayor sujeción que impone, como por la imposibilidad de obtener tablas de espesor uniforme. La reducción ulterior al mismo grueso, ocasiona además una mano de obra algo costosa y una pérdida de madera bastante considerable; así es que se reserva este sistema para obras especiales, en que el empleo de tablas aserradas por el método ordinario, ó sea *por los círculos anuales*, presentará inconvenientes particulares. En general, se recurre á este último, teniendo cuidado de escoger para las partes más expuestas á henderse ó alabearse las piezas que más se aproximen por sus condiciones á las que se sacan aserrando en la dirección de los radios medulares.

Aserramiento holandés.—Los holandeses acostumbran sacar tablas por un método menos defectuoso que el ordinario, pero que ofrece el inconveniente de dar piezas de anchos desiguales (fig. 157). Cuando se quieren preparar tablas de anchura uniforme, se apilan (fig. 158), se atan con una cuerda y de un solo corte se asierran todas á la vez. Igual método se sigue cuando, al emplear el sistema ordinario, no se comience por separar del tronco los costeros *B*, *C*, *D* y *E* (fig. 154).

Otros métodos de aserramiento.—No se explicarán otros métodos propuestos para sacar maderas de sierra, como el ideado por Moreau, cuya descripción puede verse en las obras de Émy y de Demanet, porque todos ellos son complicados, imponen mucha sujeción y no ofrecen ventajas prácticas positivas.

ENCORVADURA DE MADERAS.

Muchas construcciones civiles, y sobre todo las navales, exigen el empleo de piezas curvas de madera, cuya escuadración se ha estudiado ya. Para obtener el machón con la curvatura que se requiere, lo primero que ocurre es sacarlo de una pieza recta de suficientes dimensiones, por medio de la sierra ó del hacha; pero como se ve inmediatamente, habría así una gran pérdida de madera, y además se cortarían la mayor parte de las fibras, debilitándose la pieza, que quedaría en muy malas condiciones de resistencia.

Maderas curvas naturales.—Al explotar los montes, se encuentran algunas veces árboles cuyos troncos presentan la curvatura necesaria, en cuyo caso se deben utilizar y escuadrarlos, de modo que las piezas obtenidas presenten sus fibras continuas, y puedan emplearse en obra sin inconveniente de ningún género. Pero como es muy raro hallar en los montes árboles que sean susceptibles de suministrar desde luego piezas curvas, ha sido preciso recurrir á encorvar artificialmente las maderas.

Dos son los métodos más usados: uno que se aplica á los árboles en pie, y otro á los apeados.

Encorvadura de árboles en pie.—Cuando se dispone de árboles delgados y jóvenes, que se prestan bien á recibir curvaturas determinadas, se empieza por sujetarlos, por medio de cuerdas ó vientos, á estacas verticales y piezas horizontales, convenientemente colocadas, y de tal modo, que queden fijos y con la curvatura que se desee; todo se reduce en lo sucesivo á cambiar de cuando en cuando los vientos, á medida que la planta crece y aumenta de diámetro, manteniendo, sin embargo, su curvatura hasta el momento en que los árboles se hayan desarrollado lo suficiente para que, libres de los lazos, no se altere su forma, y den machones á propósito para el objeto á que se destinen. Para emplear una pieza obtenida de este modo, necesita transcurrir gran número de años, de suerte que el procedimiento sólo puede ofrecer algunas ventajas en los grandes montes del Norte de Europa; en Rusia se pone en práctica á menudo para construcciones navales, y aun para dar á las piezas la forma circular

y construir llantas de una sola junta: aparte del inconveniente de su extremada lentitud, este sistema retarda el crecimiento del árbol y altera también algo la homogeneidad de la madera; no conviene, por tanto, aplicarlo más que en circunstancias muy especiales, y se prefiere casi siempre encorvar las piezas rectas obtenidas por los métodos ordinarios.

Encorvadura de piezas ordinarias.—Para encorvar las maderas cuando los árboles están apeados, no hay más que ablandarlas, y una vez en este estado, darles la forma conveniente. La operación está fundada en la propiedad que tiene la madera de que, penetrando el calor y el agua en la substancia leñosa, la ablandan lo suficiente para poder recibir formas curvas que conserva después de seca. Para reblandecer la madera, se emplea la acción directa del fuego, el vapor de agua, el agua hirviendo ó la arena caliente.

Reblandecimiento con el fuego.—Desde muy antiguo se emplea el fuego para encorvar las maderas. Los toneleros usan diariamente este procedimiento para la construcción de barriles; como las duelas que los constituyen son muy delgadas, basta un fuego de poca intensidad para encorvarlas; así, pues, reunen las duelas en el orden correspondiente, las sujetan por medio de un aro en su parte inferior, y basta la acción del fuego producido por unas virutas colocadas en el centro, para que puedan encorvarse, sin temor de que pierdan su forma después que se colocan los aros que las unen.

Los carpinteros de ribera emplean también este sistema para encorvar las tablas. Las que tienen de 0m,05 á 0m,07 de grueso y provienen de árboles recién apeados, se encorvan tan sólo con la llama de una antorcha; pero cuando las dimensiones son mayores, es preciso someterlas á la acción de un fuego más intenso, como representa la figura 159. Un extremo, *a*, de la tabla se introduce bajo una pieza horizontal, *b*, fija con pasadores á dos pies derechos, *c*. Se somete á la acción del fuego, *h*, apoyándola en una fuerte barra sostenida en dos grandes morillos de hierro, *f*, que pueden avanzar ó retirarse, y que permiten colocar la tabla á diversas alturas. Una gruesa piedra, *g*, dispuesta en el extremo de la pieza, aumenta su peso y determina su flexión, á medida que el calor penetra en la madera. Se acelera la operación mojando con frecuencia la parte superior de la tabla.

Con piezas encorvadas de este modo, sujetas con cepos de madera y estribos de hierro, pueden construirse bóvedas ó cimbras de grandes dimensiones y considerable resistencia: la disposición se ve en la figura 160, que representa la cimbra usada por el Inspector general de Puentes y calzadas, Sr. Eustache, para la construcción de un puente en Melun, el año 1850.

Reblandecimiento con agua hirviendo.—Para reblandecer la madera con agua hirviendo, el aparato se reduce, por lo general, á una caldera muy larga de cobre, colocada en un horno. El fondo de la caldera está sostenido por barras de hierro; el borde superior recibe las láminas de palastro, que constituyen la cubierta. Las piezas se apoyan en pequeñas cárceles para que el líquido las rodee por completo: al cabo de cierto tiempo se sacan, y mientras están húmedas se encorvan, como luego se indicará. Por este medio se consigue reblandecer mucho las tablas, pero se observa que el agua cambia de color y toma gusto amargo, lo que hace suponer que aquellas pierden una parte de su materia constitutiva, y por consiguiente de su resistencia.

Reblandecimiento por medio del vapor.—En este método las maderas están sometidas al calor y á la humedad, por medio del vapor de agua.

El aparato que se emplea consta, en resumen, de una caja perfectamente construida, y de dimensiones proporcionadas á la longitud y al número de piezas que haya que reblandecer, á la cual se hace llegar el vapor de agua á presión conveniente.

Los holandeses adoptaron ya en el siglo XVII estufas de madera para encorvar las tablas destinadas á construcción naval. En el puerto de Lorient se usó el año 1850 la estufa que está representada en la figura 161; consiste en un cilindro formado de tablones de abeto, semejantes, en su sección transversal, á las dovelas de una bóveda en cañón. El vapor se introduce por un tubo, *s*, que comunica con una caldera, *c*, de hogar interior. En la estufa va colocada una especie de parrilla, *m*, sobre la que se disponen las piezas, con objeto de que por todas partes estén sometidas á la acción del vapor de agua. Se cierra herméticamente la capacidad, por sus dos extremos, con tapas, *b*, suspendidas de un mástil, *i*, y que se aplican á los bordes de la estufa, por medio de tornillos, que las sujetan é impiden los escapes. La experiencia ha demostrado que, dejando ex-

puestas las piezas á la acción del vapor tantas horas como pulgadas tienen de espesor, adquieren la suficiente blandura para encorvarse. Estos aparatos tienen el defecto de que se deforman con mucha facilidad, escapándose el vapor por las juntas, por minuciosas que sean las precauciones que se adopten para evitarlo.

La fuerza del vapor podría aplicarse con mejor éxito empleando un tubo grueso de hierro que sustituyera á la estufa, en el cual se colocarían las piezas, y por medio de una ó dos calderas, se obtendría el vapor á una presión de algunas atmósferas. Claro es, que de esta manera el calor y el vapor penetrarían hasta el corazón de las piezas más gruesas, reblandeciéndolas y haciéndolas susceptibles de tomar curvaturas muy acentuadas.

Reblandecimiento con arena.—Se ha sustituido á la caja de vapor una estufa con arena, de fondo horizontal y dimensiones proporcionadas á la longitud y número de las piezas que se vayan á introducir. Se coloca en el fondo una capa de arena de $0^m,10$ á $0^m,12$ de espesor, y sobre ella se disponen los maderos de canto, de modo que no se toquen unos á otros; se llenan los intervalos y se cubre todo de arena caliente, pudiéndose formar así varios lechos de piezas, sobre los que se extiende otra capa de arena de $0^m,35$ á $0^m,40$ de espesor, que se moja continuamente con agua hirviendo. Dispuesta la caja en hogares bien acondicionados, se logra que las maderas adquieran una temperatura muy elevada, y se reblandecen más que en las estufas de vapor, á igualdad de circunstancias.

Modo de encorvar las piezas reblandecidas.—Cualquiera que sea el grado de reblandecimiento y la flexibilidad que hayan adquirido las maderas, es preciso encorvarlas antes de colocarlas en obra. Se empezará por explicar el método más sencillo. En un suelo bien plano y horizontal se dibuja la curva á que se ha de plegar la pieza, y en varios de sus puntos se clavan fuertes estacas verticales, *b*, como se representa en la parte de la derecha de la figura 162, y en número suficiente para el desarrollo de la pieza. La distancia entre las estacas varía con la curvatura que se trate de obtener, pero no debe exceder nunca de $1^m,50$. La cabeza del machón, ó más en general, la sección en que haya de empezar la curvatura, se sujeta entre dos estacas, *a* y *d*. Por medio de un polipastos, *l*, unido á un fuerte pie derecho, *m*, se pone la pieza en contacto con las diversas estacas, y á medida que toca á cada una de ellas, se fija por sólidos piquetes, *e*, *e*...., que se introducen en agujeros hechos de antemano, para que la encorvadura se efectúe con la mayor rapidez posible, y la madera, en virtud de su elasticidad, no pueda volver á su posición primitiva. En esta situación se aguarda á que la pieza se seque y enfríe.

El método anterior es muy expedito, pero deja mucho que desear desde el punto de vista de continuidad en la curva. Se obtienen mejores resultados aplicando el sistema que se ha dibujado en la parte de la izquierda de la misma figura 162. Las estacas *c*, son de sección cuadrada, y perfectamente planas en la cara de contacto con la pieza: se colocan en el suelo varios maderos, *t*, normales á la curva marcada, sobre los cuales descansa la pieza, *k*, recién salida de la estufa ó de la caja de arena; se fija como antes entre las dos estacas, *a* y *d*, y á medida que se encorva por medio del polipastos, *qr*, se la sujeta con dos cinchos de hierro, *u*, colocados uno encima y el otro debajo de la pieza, que abrazan la estaca correspondiente y dos fuertes piezas de madera, *v* y *x*, verificándose un ajuste perfecto por medio de dos cuñas, *y*, *y*, como se observa en la figura 163, que es un corte por *GH* de la 162.

Por este método, y disponiendo bien las estacas, se pueden dar á las piezas diversas curvaturas con bastante exactitud, aunque siempre aparece algún garrote en los puntos de contacto con las estacas, por lo cual se emplea en ciertas ocasiones un sistema más perfeccionado. Sobre un molde ó patrón, *m* (fig. 164), que puede ser de madera, piedra ú otro material, que tenga exactamente la curvatura que se quiera obtener, se aplica la pieza que se va á encorvar; tanto el patrón como la pieza, *k*, insisten en maderos, *c*, *c*...., y con objeto de mantener fijo aquel, se une con pasadores á dos fuertes estacas, *b*, que, hincadas en el suelo, se colocan en sus extremidades. Á medida que se aplica la pieza sobre el patrón, por medio de los polipastos *d*, *d*, se la sujeta con estribos de hierro, *e*, representados en la misma figura y en el corte por *MN* (fig. 165), los cuales hacen que no se altere el contacto, y por consiguiente que se conserve con precisión la curvatura. Los estribos abrazan á la pieza y al patrón; las dos ramas de aquellos se unen por bridas, *f*, que se ajustan con tornillos y que no tocan á la pieza, para que no se deforme, interponiéndose al efecto las piececillas ó cuñas *g*. Á fin de que por

el esfuerzo de tracción ejercido en las cuerdas de los polipastos, no pierdan en regularidad las aristas de la viga, se hace que aquellos se apliquen á piezas de madera, *h*, *h* (fig. 164), de la forma que muestra el corte por *PQ* (fig. 166); al propio tiempo las cuerdas están separadas de las caras del patrón por los rodillos, *i*, *i*, que se ven en las figuras 164 y 166.

TRANSFORMACIONES QUE TIENEN QUE SUFRIR LAS PIEZAS HASTA COLOCARLAS EN OBRA.

Operaciones y herramientas ordinarias.—Las piezas escuadradas, tales como se expenden en el comercio, pueden emplearse desde luego en algunas obras; pero por lo general, ya se apliquen á construcciones civiles, ya á la industria, necesitan experimentar una multitud de transformaciones, que tienen unas veces por objeto afinar las superficies de las maderas, como la *alisadura* y la *acepilladura;* otras abrir cajas ú orificios, como la *escopleadura* y la *perforación;* otras labrar superficies de revolución, como la *torneadura*, etc., etc. Algunas de estas operaciones se practican sencillamente con la sierra, y no tienen más objeto que labrar las piezas desbastadas en la escuadración; otras sirven para verificar la ensambladura de una ó varias piezas, estudiándose con todo detalle en el curso de Estereotomía, en el que también se dan á conocer muchas, si no todas las herramientas que usan los carpinteros; otras se efectúan para labrar con más esmero las piezas ó darles formas especiales. Las herramientas ordinarias de trabajo, como las *hachas*, las *azuelas*, los *cinceles*, los *formones*, las *tenazas*, los *cepillos ó garlopas*, las *barrenas*, los *trépanos*, los *berbiquíes*, etc., etc., son unas demasiado conocidas para que requieran descripciones especiales; de otras se ha hablado ya en artículos anteriores; y algunas tienen los mismos nombres é idéntica disposición que las que se definirán al tratar del trabajo de los metales.

Herramientas mecánicas.—Pero la mayoría de las operaciones que á la ligera se han indicado, pueden hacerse con instrumentos movidos á máquina, y que se denominan *herramientas mecánicas*, aparatos muy recomendables para los grandes talleres de

maderas, pues si bien el trabajo de éstas ha progresado mucho menos que el de los metales, existen, sin embargo, establecimientos importantes en que se preparan y labran las piezas de madera con precisión asombrosa y celeridad notable. Las herramientas mecánicas ofrecen las inmensas ventajas de que el personal no necesita poner en juego más que su inteligencia, y de que con ellas se pueden ejecutar pronto y bien muchas operaciones, que serían dificilísimas, si no imposibles, si se emplearan exclusivamente las fuerzas musculares del hombre.

Muchas de estas herramientas presentan analogías marcadas, y están fundadas en los mismos principios que las que se explicarán para trabajar los hierros; así es que sólo se harán aquí indicaciones muy someras.

Los constructores ingleses son los que han llegado á más alto grado de perfección en la disposición de los operadores, que ante todo deben montarse en armazones macizas, pesadas é inmóviles, que eviten las vibraciones y los choques que resultan de la falta de homogeneidad de los materiales que se trabajan; vibraciones y choques que se amortiguan, y á veces se anulan, dando á las herramientas considerable masa. Para que el empleo de éstas sea económico, es indispensable agruparlas en el mismo orden en que se han de verificar en las piezas las operaciones respectivas: por lo general, se transmite el movimiento á cada aparato por correas y poleas de diferentes diámetros, que lo reciben de un árbol horizontal, que atraviesa el taller en toda su longitud.

Se dirá en pocas palabras el fundamento de algunas máquinas.

Máquinas de perforar.—Se componen en esencia de una barrena ó *broca* vertical, montada en una vaina de hierro fundido, que termina en una rueda cónica horizontal, que se pone en movimiento por otra rueda vertical, también cónica, colocada en el extremo de un árbol horizontal, que lleva dos poleas, una motriz y otra loca: una palanca permite arrollar la correa de transmisión á la polea que convenga, para que la broca gire ó para que se detenga. No basta que el aparato esté animado de un movimiento de rotación; es preciso que descienda además poco á poco, y con una velocidad que ha de quedar á voluntad del operario, porque depende de la clase de madera y de las dimensiones del orificio. Para conseguirlo, la vaina vertical

que lleva la broca, atraviesa á ranura y lengüeta la rueda motriz, de suerte que puede subir ó bajar, sin que el giro se interrumpa: el operario determina el movimiento vertical, por medio de una rueda montada en el eje de un piñón, que engrana con una cremallera vertical, la cual va unida á unos manguitos entre los cuales queda comprendido el estuche de hierro colado; al hacer girar la rueda en un sentido, baja la cremallera y con ella los manguitos, y por tanto, la barrena. Cuando está ya abierto un orificio, no hay más que mover la rueda en sentido inverso al anterior, para que suba la broca y poder practicar un nuevo taladro.

Máquinas de escoplear.—Constan de un cincel vertical montado en una pieza de hierro fundido; ésta, por medio de una biela sobre la que actúa la fuerza motriz, adquiere un movimiento de oscilación, que hace que el cincel penetre en la madera, sacando cada vez una viruta. El aparato está dispuesto de tal suerte, que el operario puede regular á voluntad la profundidad de la caja y la marcha de la pieza.

Máquinas de acepillar.—Los *cepillos mecánicos* se componen de una sólida armazón de hierro fundido, que lleva en la parte superior una plataforma horizontal, que recibe un movimiento alternativo de progresión, por medio de una cremallera, que engrana con un sistema de piñones y ruedas dentadas, que á su vez reciben la impulsión de la polea motriz. La pieza de madera, al avanzar con gran rapidez, pasa por debajo de uno ó varios cinceles, que están fijos sólidamente en apoyos de hierro, para asegurar su inmovilidad; cada uno levanta una viruta continua, cuyo ancho depende del que tenga el filo del operador.

Otras herramientas mecánicas.—Hay otras muchas herramientas mecánicas, cuya descripción puede verse en obras especiales: en la tantas veces citada de D. Eugenio Plá, se explican y representan varias de ellas.

TRANSPORTE DE MADERAS.

El transporte de maderas desde el monte á las obras en que se emplean, se efectúa por diversos medios, según se trate: 1.°, del transporte parcial desde el sitio en que se cortan los árboles, á otro donde se van reuniendo para escuadrarlos ó principiar el segundo transporte; 2.°, del transporte desde estos sitios á los almacenes de las poblaciones; 3.°, de la conducción desde éstos á las obras, ó de los pequeños transportes que requiere la labra de las piezas.

Transportes en el monte.—En toda explotación es preciso dirigir la corta de modo que sea fácil la extracción de los troncos; con este objeto deben preferirse aquellos puntos inmediatos á los caminos ó sendas practicables ó que puedan abrirse con facilidad, y vayan á parar al punto general de reunión; así como también los próximos á corrientes de agua susceptibles de arrastrar maderas, y que puedan conducirlas á los mismos parajes.

Los caminos que se abren en los bosques para extraer los troncos, no exigen el mismo cuidado que los destinados al servicio público; la anchura que se les da es la estrictamente necesaria para el paso de un vehículo, disponiendo apartaderos á ciertas distancias, donde se detienen los carros vacíos que marchan en dirección opuesta. El terreno se deja tal como está, quitando únicamente la maleza y árboles que estorben el paso, y á lo sumo, se echa un poco de grava, que conducen los carros vacíos; en los sitios pantanosos, se tienden transversalmente faginas ó ramajes, para que consoliden el suelo y faciliten la tracción.

Para ejecutar el primer transporte, se desmocha el árbol después de apeado, dejando sólo el tronco; se clava en un extremo de él un fuerte gancho de hierro llamado *arpón*, al cual se ata un trozo de maroma, y luego, por medio de caballerías ó de bueyes, se arrastra hasta el punto de reunión de las piezas, ó hasta los caminos ó veredas hechas para el paso de los vehículos. Si el terreno es un poco escabroso, son preferibles los bueyes, sobre todo para el arrastre de grandes piezas, pues á pesar de su lentitud y natural pesadez, tienen mucha resistencia, y la forma particular de su pezuña les facilita sostenerse en laderas muy inclinadas.

Rodaderos.—Pero si la zona fuese sumamente quebrada, no puede emplearse el medio anterior para el transporte, y es necesario aprovechar los derrumbaderos naturales, conduciendo los troncos hasta su borde, y haciéndolos *rodar* á la parte inferior: cuando el terreno no tiene la consistencia necesaria, se consolida con piezas de madera puestas en sentido de la línea de máxima pendiente. Este

medio de bajar las piezas tiene el inconveniente de deteriorarlas, sobre todo si el declive es muy rápido: para evitarlo se hacen *rodaderos artificiales*, dándoles una pendiente uniforme y moderada. Los rodaderos artificiales se componen de troncos de árboles, colocados unos al lado de otros, y puestos longitudinalmente en sentido de la máxima inclinación, los cuales se sostienen en esta posición por piquetes cuando descansan en el terreno, ó por caballetes de madera más ó menos complicados cuando se tienen que separar de él, pero cuidando de que formen con regularidad el plano inclinado; á éste se le ponen algunas veces guardalados, hechos también con troncos. El declive que se da al plano es el suficiente para que las maderas bajen por su propio peso, no siendo necesario un ángulo horizontal mayor de 20°; y para disminuir los rozamientos, que á un mismo tiempo desgastan el plano y los troncos que bajan, si se puede disponer de una corriente de agua, se la hace bajar por el plano, para que, manteniéndolo húmedo, lo haga resbaladizo.

Por mucho que sea el cuidado que se tenga con los planos inclinados, no pueden evitarse los destructores efectos del roce: para salvarlos, en lugar de abandonar las piezas á su propia acción, se reunen muchas de ellas y se colocan en *rastras* ó *trineos*, formados de piezas rollizas transversales, que distan entre sí de $0^m,60$ á 1 metro, sólidamente fijas á dos piezas paralelas en sentido perpendicular á ellas. Las pendientes se arreglan para que el peso de la carga pueda hacer resbalar la rastra; éstas van siempre guiadas por un hombre colocado delante, que, sin hacer un gran esfuerzo, modifica la velocidad del tren, ya deteniéndolo ó ya empujándolo con un gancho ó bichero.

Una vez reunidos los troncos en los puntos convenientes, inmediatos, como se ha dicho, á las vías de comunicación, se escuadran para facilitar el segundo transporte; cosa ventajosa, porque se consigue disminuir su volumen y peso en más de un 25 por 100.

Transporte por caminos ordinarios.—El transporte de las piezas de madera por caminos ordinarios para conducirlas á las poblaciones ó almacenes, se efectúa generalmente en vehículos, cuyas formas varían de un país á otro y también con la clase de motores que se empleen. Sin entrar á hacer una clasificación de aquellos, se expondrán las reglas principales que deberán tenerse presentes.

Para la conducción de grandes piezas se hace uso de lo que se llama un *trinquibal*, que está reducido á un eje resistente con dos ruedas, y una lanza que sirve para enganchar el tiro. La pieza ó piezas se aseguran al eje y lanza, colocándolas por encima ó por debajo, empleándose dos trinquibales unidos, si la longitud de los maderos lo requiere. La mayor dificultad consiste en el modo de cargar y descargar las piezas, para cuyo objeto se emplean gatos, palancas ó cabrias, que sucesivamente levantan las piezas por uno y otro extremo.

Cuando éstas son pequeñas se transportan en carretas ó carros de dos ruedas. Las precauciones que hay que tomar, son: 1.ª, que la carga esté equilibrada sobre el eje; pues si estuviera *delantera* molestaría demasiado á las caballerías de varas, y si estuviera *trasera* se ejercería en el vientre de las mismas, por medio de las guarniciones, una presión que les imposibilitaría arrastrar el peso; 2.ª, evitar que las maderas tropiecen con las caballerías, lo que se consigue de dos maneras, ó bien colocando las piezas en sentido de la longitud del carro, descansando en un travesaño situado en la parte anterior de él, ó poniéndolas en sentido de la diagonal del rectángulo que forma la proyección horizontal del vehículo.

Transportes por agua.—Cuando el país presenta corrientes de agua á propósito, pueden aprovecharse para el transporte de las maderas, que puede efectuarse de tres modos diferentes: 1.°, á *madera perdida*, es decir, abandonando las piezas sueltas á la corriente, y deteniéndolas luego en el punto que se quiera por medio de presas ó diques construidos al intento; 2.°, por *flotación en balsas*; 3.°, en *barcos ó buques de transporte*.

TRANSPORTE Á MADERA PERDIDA.—El primer método se emplea cuando puede disponerse de corrientes que tengan bastante agua; pero presenta la dificultad de que los recodos no siempre permiten el paso de piezas largas, á menos de abrir un nuevo lecho al río ó arroyo. Generalmente, el mismo movimiento del agua conduce las maderas flotantes, siendo suficiente distribuir algunos hombres ó *gancheros* por las orillas para empujar las piezas detenidas por cualquier obstáculo. Este procedimiento se usa mucho en España; entre los diversos ejemplos que pudieran citarse, se indicará el transporte á Valencia, por el Turia, de los pinos de Valdemeca, Moya, Albarra-

cín, Molinches, San Martín y otros varios: los principales puntos de embarque son Ademuz y Santa Cruz; y todos los interesantes detalles de las *maderadas* pueden verse en la memoria escrita por el Ingeniero Jefe de Montes, D. Juan Navarro Reverter, y publicada en el tomo 5.° de la *Revista forestal*.

TRANSPORTE EN BALSAS.—Cuando las aguas no tengan velocidad suficiente, se reunen las maderas para formar *balsas, armadías ó almadías*. Éstas se componen de piezas unidas por mimbres ó ramas flexibles y torcidas, que pasan por agujeros hechos con barrenas en los extremos de aquellas; la anchura de las balsas está limitada por la de los pasos que tienen que atravesar; de ordinario, se reunen varias almadías, que se conducen á la sirga por hombres ó caballerías que marchan por las márgenes.

Este método ocasionaría algunas dificultades, en ríos caudalosos, sobre todo si son navegables. Se disponen entonces grandes balsas formadas de piezas longitudinales y transversales sólidamente unidas; encima de ellas se colocan las maderas, poniendo las más cortas en la parte superior, hasta llegar á una altura proporcionada. En lugar de una gran balsa, pueden construirse varias pequeñas enlazadas entre sí, para que se acomoden á las inflexiones de la corriente. Una operación de esta naturaleza exige precauciones, tales como la de repartir la gente que ha de practicarla en los sitios á propósito para lograr mejor el objeto: los capataces cuidan de la dirección; y los gancheros, ya desde la orilla, ó ya en las mismas balsas, las van guiando armados de largos bicheros, de los cuales se sirven, apoyándolos en las orillas ó en el fondo, para imprimir la dirección que se desee.

Cuando las piezas se transporten sumergidas en el agua, es muy esencial que no se vuelvan á sacar hasta llegar á su destino, por lo perjudiciales que son las alternativas de sequedad y humedad; y es igualmente interesante, que si el río va á dar á aguas saladas, se haga la extracción antes de llegar al punto que las contenga, porque las substancias salitrosas de que se impregnan las maderas pudieran ser dañosas.

TRANSPORTE EN BARCOS.—Es preferible el transporte en barcos, y sobre todo para grandes distancias, por la ventaja de poder reunir y resguardar á un mismo tiempo gran número de piezas. La colocación de éstas es la misma que se adopta, y se explicará pronto, para apilarlas en los almacenes, teniendo la precaución de asegurarlas para que no se caigan con los movimientos del barco, y procurando además que no se mojen al embarcarlas ó desembarcarlas.

Transporte desde los almacenes.—Resta hablar del pequeño transporte desde los almacenes á las obras. Si la pieza es de pequeño volumen y mediano peso, un solo peón puede llevarla al hombro: si el volumen y peso aumentan, se necesita un hombre para cada punta, cargándola uno en el hombro derecho y el otro en el izquierdo, por cuyo medio está como en equilibrio sin necesidad de sujetarla con las manos; si los dos la llevasen en el mismo hombro tendrían necesidad, no sólo de inclinar el cuerpo hacia el lado opuesto, sino de sujetar la pieza con las manos; es indispensable siempre, que los operarios que verifiquen la conducción marchen á compás.

Cuando una pieza es de peso excesivo, se reunen los hombres que sean necesarios, y se reparten á lo largo de la pieza, de modo que alternativamente estén uno á la derecha y otro á la izquierda. Es conveniente, si la distancia es muy larga, que se formen cuadrillas que puedan alternar, contando con que los peones de cada una tengan estaturas poco diferentes. Para cargar la pieza se principia por levantar una punta, reuniendo en ella el esfuerzo de todos los operarios; siendo suficiente después un corto número para tenerla levantada, de modo que puede ir el resto á la otra punta, y repartirse inmediatamente á lo largo de la pieza. Para descargar el madero se procede en orden inverso.

También pueden llevarse piezas pesadas, pasando por debajo de ellas palancas ó barras de hierro, cuyas puntas llevan cogidas los peones que marchan pareados á uno y otro lado de aquellas.

Por último, las piezas muy grandes pueden transportarse con rodillos; para ello se levanta una punta y se coloca debajo un cilindro; se hace lo mismo con la otra, y entonces se puede empujar el madero con las manos en el sentido que se desee, teniendo cuidado de colocar delante un rodillo, antes que la punta posterior llegue á descansar en el más delantero; así se logra que constantemente haya dos rodillos bajo la pieza. Á éstos se les puede dar la oblicuidad á propósito para seguir la dirección que convenga.

ALMACENAJE DE MADERAS.

Conveniencia del almacenaje.—Las maderas cortadas, troceadas y escuadradas ó aserradas, no suelen recibir la labra definitiva ni ponerse en obra, inmediatamente después de haber sufrido aquellas diversas operaciones. En la mayor parte de los casos conviene que transcurra bastante tiempo para conseguir que las piezas se sequen y pierdan la savia, que, como ya se ha hecho observar, es una de las causas principales de su descomposición ulterior. Al efecto se acostumbra en los grandes talleres de construcción hacer considerables acopios de madera, que exigen una vigilancia incesante y una porción de precauciones, de que se dará una ligera idea.

Las circunstancias perjudiciales para la conservación de las maderas, son: la humedad, sobre todo cuando la acompaña el calor; las alternativas de sequedad y humedad, y el bochorno ocasionado por un fuerte calor ó por una corriente de aire demasiado intensa. Las primeras producen el recalentamiento ó pudrición de las piezas, facilitando la fermentación de los líquidos que entran en la savia; la última determina á veces grietas ó fendas, que casi siempre disminuyen el valor de las piezas.

Apilamiento.—De ordinario, se apilan las piezas al aire libre, pero son muy preferibles los almacenes construídos á propósito, ó á lo menos tinglados provisionales y bastante salientes respecto á las pilas, para preservarlas de la acción de los rayos solares y de las lluvias. Cada pila está formada de diversos lechos de piezas que se cruzan; la primera capa descansa en dados de piedra algo elevados sobre el suelo, y las demás se hallan separadas entre sí por durmientes ó *marranos* bastante gruesos para que el contacto no se verifique en ningún punto, y para que queden claros suficientes por los que el aire pueda circular con libertad.

Se colocan, en lo posible, los tinglados en sitios bien ventilados y resguardados al mismo tiempo de la acción del sol y de los vientos reinantes, pues éstos, además del bochorno que producen, pudieran impeler la lluvia bajo los cobertizos. Se tiene cuidado, en fin, de remover las pilas de cuando en cuando, cambiando de lugar las piezas y á veces las pilas enteras. No se puede prescindir de esta operación desde el momento en que se observe por el olor ácido y acre que se suele manifestar en los almacenes, ó por el calor del aire ambiente, que se inicia el recalentamiento. No debe prescindirse, cuando se remuevan las pilas, de separar las piezas que presenten indicios de aquella enfermedad ó de carcoma, y de reponer los marranos que no estén sanos, á fin de impedir la propagación del mal.

Condiciones á que deben satisfacer los edificios destinados á almacenes.—Los almacenes han de tener colocadas las puertas en los extremos de su mayor dimensión, para que no sea preciso dar la vuelta á las piezas antes de que lleguen á su sitio, lo que sería difícil si fuesen muy largas. Para apilar las piezas grandes en los almacenes, se emplean cabrias ó polipastos, que se sujetan á las vigas de los pisos superiores ó de las armaduras; por consiguiente, deben calcularse las dimensiones de aquellas, de suerte que puedan resistir á los esfuerzos á que han de estar sometidas.

Cuando los almacenes tienen varios pisos, se hacen las pilas de madera algo menos elevadas que en el caso contrario, para no cargar demasiado la viguería de suelos; ordinariamente éstos no se forjan para que el aire circule con más libertad. Las piezas mayores se apilan siempre en los pisos inferiores. Las ventanas, que no necesitan vidrieras, se abren ó se cierran, según las estaciones y la dirección del viento, y según convenga ventilar las piezas ó resguardarlas del bochorno, de la lluvia, de las nieblas ó de los ardores del sol.

Si los almacenes no tienen más que planta baja, es indispensable que además de las ventanas abiertas en los muros, se dispongan en la cubierta lumbreras y chimeneas que sirvan de ventiladores, y puedan abrirse ó cerrarse á voluntad. El suelo de un almacén ha de estar más elevado que el terreno; conviene enlosarlo ó adoquinarlo, y mejor aún cubrirlo con una capa de bastante espesor de hormigón ó de betún asfáltico ó hidrófugo, para impedir el acceso de la humedad: nunca se debe entarimar, porque las tablas y los ristreles se pudrirían pronto y comunicarían la descomposición á las maderas almacenadas.

OTROS MATERIALES VEGETALES.

Terminado el importante estudio de las maderas, hay que consagrar algunas líneas á reseñar otros materiales de origen vegetal en su totalidad ó en alguno de sus elementos esenciales, que si no de un uso tan frecuente como las maderas, no dejan de emplearse en las construcciones. Se darán, pues, á conocer: 1.°, los *cañizos, ramajes y tepes*; 2.°, las *cuerdas*, y 3.°, las *gomas, resinas* y otros productos que, como el *caucho* y la *gutapercha,* fluyen de incisiones hechas en ciertas plantas.

CAÑIZOS, RAMAJES Y TEPES.

Los *cañizos* y los *materiales de ramaje* se emplean á menudo en revestimientos y defensas de escarpas y márgenes, en trabajos de consolidación de terrenos y en multitud de otras obras civiles, aparte de la importancia suma que tienen en las de fortificación. Las propiedades especiales que caracterizan á estos materiales, son: 1.ª, arraigarse y adherirse fácilmente á las partes de las orillas ó márgenes existentes; 2.ª, plegarse, por la flexibilidad de sus elementos, á todas las desigualdades y ondulaciones del terreno en que se asientan, repartiéndose así las cargas superiores de un modo conveniente; 3.ª, que por las variaciones de su peso específico, pueden flotar durante los primeros periodos de ejecución, y sumergirse después sin dificultad por el peso de las partes superiores; 4.ª, dejar una multitud de salidas al agua por sus intersticios, deteniendo al mismo tiempo, como en un filtro, las materias que aquella conduce en suspensión, las cuales sirven para consolidar la obra; 5.ª, ser, á volumen igual, mucho más económicos que cualquiera otra especie de materiales. En cuanto á la elección que debe hacerse entre los que se van á describir, depende de una porción de circunstancias relati-

vas á la clase de obra que se trate de ejecutar, á su situación, á los medios disponibles y al carácter provisional ó permanente que tenga: en todo caso convendrá hacer con ellos experimentos preliminares y tomar las precauciones adecuadas para asegurar un completo éxito.

CAÑIZOS.

Los *cañizos* ó *revestimientos de cañas* se componen de una capa de cañas ó de paja encañutada de unos 0m,05 de espesor, puesta longitudinalmente sobre la superficie que se ha de revestir, en sentido de su línea de máxima pendiente, como se ve en la figura 167: se sujeta al terreno con unas ligaduras compuestas de haces retorcidos de la misma paja, del grueso del brazo, que atraviesan perpendicularmente la capa, formando líneas transversales distantes entre sí de 0m,15 á 0m,20 y que después de haber abrazado una extensión de 0m,25 á 0m,30 de longitud horizontal, penetran en el terreno hasta 0m,15 ó 0m,20 de profundidad. La introducción se hace con una especie de horquilla (fig. 168), con la que se comprimen las ligaduras lo que sea necesario.

Estos cañizos son muy baratos y de conservación fácil, pero que debe ser continua, porque atravesando el agua la superficie del revestimiento, moja y ablanda el terreno que cubre, afloja las ligaduras y destruye la construcción. Su duración llega á ser de cerca de un año, cuando sólo están expuestos á la acción de las olas del mar; pero resisten menos si están sometidos á las riadas.

MATERIALES DE RAMAJE.

Zarzos.—El *zarzo* (fig. 169) es un tejido que se forma colocando verticalmente una línea de piquetes clavados en el terreno con una equidistancia de 0m,30 á 0m,40, alrededor de los cuales se van entrelazando tallos flexibles que se aprietan unos contra otros, teniendo al mismo tiempo cuidado de que se crucen las uniones de ramas en filas consecutivas: las cabezas de los piquetes son más gruesas que el resto para impedir que se salga el ramaje y se deshagan los

zarzos. Éstos pueden colocarse por capas sobre el terreno natural, sujetándolos con piquetes que los atraviesen, ó aplicarse á las superficies que se hayan de revestir, clavándolos en el terreno por la punta que tienen aguzada, y asegurándolos además con otros piquetes.

Faginas.—Las *faginas* son haces de ramas de árboles jóvenes, cortadas poco después de la caída de la hoja, á menos que se quiera que vegeten en el sitio que se coloquen, y reunidas por ligaduras de mimbre ó ramas flexibles de sauce: se preparan en dos caballetes, como el de la figura 170, formados cada uno de dos gruesos piquetes hincados en el suelo, cruzados y sujetos por arriba; las ramas se ponen con las partes más gruesas hacia un extremo y las más delgadas ó puntas hacia el otro, formando así una figura próximamente cónica; después se aprieta el haz con una cuerda ó *braga*, por medio de palancas, y se asegura con las ligaduras, distantes de $0^m,40$ á $0^m,70$.

Las faginas pequeñas tienen de $0^m,50$ á 2 metros de longitud, y de $0^m,50$ á 1 metro de circunferencia en la punta más gruesa: en Holanda se les da de $2^m,50$ á 3 metros de longitud y $0^m,40$ á $0^m,50$ de circunferencia: las faginas del Rhin tienen de 4 á 5 metros de longitud, 1 á $1^m,65$ de circunferencia en el extremo más grueso y $0^m,50$ á $0^m,55$ en el más delgado.

FAGINADAS.—Una *faginada* se forma con uno ó más lechos de faginas de extensión variable, cruzados por líneas paralelas de zarzos, que distan de $0^m,50$ á 1 metro (fig. 171). Los intervalos pueden rellenarse indistintamente con tierra, grava, arena ó piedras de grandes dimensiones, pudiendo llegar á adquirir la faginada importancia bastante considerable.

Salchichones.—Las faginas se colocan algunas veces de modo que el extremo grueso de una se asegure con fuertes ligaduras al extremo delgado de otra, resultando entonces largos cilindros llamados *salchichones:* también pueden hacerse, como las faginas, sobre caballetes, estableciendo cuatro en lugar de dos, ó más si fueren necesarios. Los salchichones tienen dimensiones muy variadas: en España se hacen generalmente de 6 metros de longitud y $0^m,90$ de circunferencia, con ligaduras distantes de $0^m,30$ á $0^m,50$; los usados en Holanda tienen hasta 7 y 8 metros de longitud y de $0^m,40$ á 1 metro de circunferencia media.

Para suplir la escasez de piedras de volumen considerable, que son

necesarias para la construcción de escolleras, se suelen preparar *salchichones rellenos,* que son cilindros de unos 4 metros de longitud y $2^m,50$ de circunferencia (fig. 172), rellenos interiormente de grava, los cuales, después de bien sujetos con ligaduras, se sumergen aislados ó por grupos, conteniéndolos con piquetes.

Cestones.—Los salchichones rellenos se reemplazan con ventaja con cestones, de constitución igual á la de los zarzos, y cuya figura puede ser cilíndrica, prismática (de base rectangular ó triangular) ó cónica, que en realidad debiera llamarse aovada (1). Los cestones cilíndricos (fig. 173), tienen tamaños muy variables; á los cuadrangulares (fig. 174), se les da, de ordinario, 2 metros de longitud por 1 de anchura y $0^m,60$ de altura; los triangulares (fig. 175), suelen tener $2^m,16$ de longitud, y su base es un triángulo equilátero de $0^m,30$ de lado; los aovados (fig. 176), se construyen, por lo general, de 3 metros de longitud y $2^m,10$ de circunferencia media: todos los cestones se rellenan de grava.

Se hacen también cestones de diversas formas y menores dimensiones, para obtener una escala gradual de tamaños y pesos: combinados con salchichones, sirven á menudo para formar presas en los ríos.

Los cestones prismáticos triangulares son preferibles á los cuadrangulares, porque se deforman menos al sumergirlos, tanto á consecuencia de la rotación que se verifica alrededor del eje del prisma, cuanto por la resistencia que oponen los piquetes de los ángulos. Si son aovados se les atraviesa por fuertes piquetes, A, A (fig. 176), á fin de asegurarlos en el sitio en que se sumergen é impedir que rueden y sean arrastrados por el empuje de la corriente, en caso de que hubieren caído fuera del punto en que deban colocarse. Algunas veces se echan por grupos de tres.

Los cestones se llevan vacíos al sitio en que se han de sumergir, para que no cueste tanto su conducción: el relleno se hace por aberturas, a, a, que se dejan en medio de su longitud ó en los extremos, las cuales se cierran después con zarcitos sujetos con mimbres.

(1) Los cestones cilíndricos se diferencian de los demás en que están abiertos por los extremos. Á los cestones en general, y á los cilíndricos en particular, se les suele dar el nombre de *gaviones*.

TEPES.

En muchas obras de defensa y revestimiento se emplean los *tepes*, que son unas especies de adobes, de figura prismática, generalmente de base cuadrada, que se sacan de la capa superior de los marjales, y que están cubiertos, por lo común, de césped ú otra hierba análoga; su resistencia es bastante grande á causa de la cohesión y adherencia de la tierra con las raíces que tiene entrelazadas. Para extraer los tepes, una vez elegido el terreno á propósito, se siega la hierba á raíz, y se marcan con cuerdas las dimensiones que se les quiere dar; después se van cortando en sentido vertical con palas, y por último, se introducen éstas horizontalmente por debajo para separarlos y levantarlos.

CUERDAS.

Aplicaciones.—Las cuerdas se emplean en las construcciones, como medio auxiliar de ejecución. Sirven, en efecto, según sus clases y circunstancias, para marcar alineaciones en los replanteos de obras; para plomadas; para aumentar la adherencia de los morteros y maderas, envolviendo á éstas; para sujetar las piezas de los andamiajes; para embragar y levantar materiales; como partes integrantes de cabrias y tornos; etc., etc.

Substancias con que se hacen las cuerdas.—Las cuerdas pueden formarse con diferentes materias textiles, como cáñamo, lino, seda, algodón, coco, abacá, esparto, pita y otras; pero únicamente se hablará en lo que sigue de las de *cáñamo,* que, por su mayor resistencia y flexibidad, son preferidas en las construcciones á las demás, que son muy débiles ó muy costosas. Las de *esparto* se emplean también algunas veces: de este material son las *tomizas*, que se usan para envolver las maderas.

Preparación del cáñamo.—El *cáñamo* se saca del líber de la planta del mismo nombre, que está compuesto de una porción de

fibras longitudinales, cubiertas de una corteza verde y áspera. Su cosecha se recoge en el mes de Agosto, arrancando las matas y formando haceciilos que se extienden al sol hasta que se seca la cáscara ó corteza; entonces se machacan con piedras ó se resquebrajan con la mano, y se colocan en depósitos llenos de agua, mejor corriente que estancada, sujetándolos con piedras para que se mantengan sumergidos, y dando así lugar á que se pudran las partes que unen las fibras, y á que éstas se suavicen y afinen al mismo tiempo. La operación se llama *cocer* el cáñamo; después de concluída se sacan los haces, se ponen á secar al sol, y luego se *espadan* (1) para que, desprendiéndose las cortezas, queden sueltos los filamentos: en esta disposición se guarda el cáñamo hasta que se usa, teniendo entonces necesidad de una preparación, que consiste en *rastrillarlo* ó peinarlo con un pequeño rastrillo, cuyas púas son de acero. Según que esta operación se verifique una, dos ó tres veces, se obtiene cáñamo de tercera, segunda ó primera clase; el residuo que queda en el rastrillo constituye la *estopa*. Los mejores cáñamos se cogen en España, Rusia, Suiza y Alsacia; los más apreciados en España se crían en la vega de Granada.

Las cuerdas del comercio están hechas de cáñamo, despojado sólo de la estopa, y aun no de toda algunas veces, para aprovecharlo más; pero las cuerdas que han de utilizarse en trabajos delicados, ó las que con poco grueso han de sufrir grandes tensiones, deben hacerse con cáñamo de primera clase.

El cáñamo se hila al torno, que mueve un operario por medio de un manubrio, mientras que otro se pone la madeja arrollada al cuerpo; y después de unir un mechón al carrete del torno, va tirando del cáñamo con más ó menos viveza, según exija la velocidad con que gire la rueda.

Filástica.—Un largo mechón de cáñamo torcido se llama *filástica*: exceptuando muy pocos casos, la torsión de ésta es de derecha á izquierda. Si la torcedura es mucha, adquiere la filástica una fuerza grande de elasticidad que tiende á destorcerla; de modo que, jun-

(1) Se entiende por *espadar* el cáñamo, macerarlo con un instrumento de madera llamado *espadilla*, que se compone de una tabla de unos 0m,40 de largo y de 0m,07 á 0m,10 de ancho, con uno ó dos filos.

tando dos ó más de ellas, y dejando obrar la elasticidad, cada una se destorcerá arrollándose en la otra, y formarán hilos de diferentes gruesos y denominaciones. La unión de dos filásticas muy delgadas constituye lo que se llama vulgarmente *bramante*, *tramilla*, etc., que aparece torcida al revés de la filástica, es decir, de izquierda á derecha.

Ramales, cabos y cables.—Juntando tres ó más filásticas, como en el caso anterior, se preparan los llamados *ramales* ó *cordones*. Si se aumenta la torsión de varios cordones, se unen como las filásticas, y se deja obrar su elasticidad, se enroscará cada uno de ellos en los demás, y se formará la *cuerda* ó *cabo*: es claro que el cabo está torcido al revés que el ramal y en el mismo sentido que la filástica.

Cuando el cabo tiene más de 5 pulgadas de circunferencia, ó de *mena* (1), y está hecho con tres ramales, se llama *guindaleza*; si tiene más, se denomina *guindaleza de cuatro*, *cinco* ó *más ramales*, ó *guindaleza acalabrotada*. Si se aumenta la torsión de varios cabos, y se unen, como se ha dicho respecto de los ramales, resulta otra cuerda que toma, según su grueso, el nombre de *cable* ó *calabrote*, cuya torsión es al revés que la de las guindalezas.

Claro es que las filásticas para estas últimas clases han de ser más gruesas que las destinadas al bramante, aunque no deben pasar de tres ó cuatro líneas de circunferencia, porque de otro modo se obtendrían cuerdas poco resistentes, pues dependiendo la fuerza de éstas de la torsión de aquellas, sería inevitable que en el interior quedasen filamentos sin torcer, en los que se enroscaría, por decirlo así, la capa exterior, resultando que unos tendrían diferente tensión y desigual resistencia que otros.

Clasificación.—Las cuerdas con relación á sus gruesos toman los nombres siguientes (2): se llaman *betas* cuando tienen menos de 5 pulgadas de mena; *guindalezas*, cuando tienen de 5 á 11; *calabrotes*, cuando miden de 6 á 11, y están torcidos al revés que las betas y

(1) Esta dimensión y las demás que luego se citan, están referidas á las antiguas unidades francesas.

(2) En esta clasificación se prescinde de los variadísimos nombres que se dan á las cuerdas ó *jarcias* en la marina.

las guindalezas; *cables*, cuando tienen de 11 á 52, y están torcidos en el mismo sentido que los calabrotes. Sin embargo, no debe atribuirse un rigor absoluto á esta clasificación, pues en la práctica es muy común llamar *cables* á todas las cuerdas que sirven para elevar pesos de alguna consideración. En la marina suele haber mayor precisión en las denominaciones.

Fabricación.—Se ha indicado que para hacer las cuerdas se torcían bien los cordones, y uniéndolos por sus extremos se dejaba obrar la elasticidad á fin de que se arrollasen unos en otros: esto exige ciertas precauciones para que no se tuerzan los ramales con desigualdad. Con tal objeto, se cogen las filásticas que han de componer el ramal, se aseguran por uno de sus extremos á uno de los carretes del torno, y por el otro se unen al gancho de un carretón á propósito, de cuatro ruedas, apoyando de distancia en distancia las filásticas en banquillos ó caballetes: en seguida se da vuelta á la rueda, y empiezan á colcharse (1) y á formar el ramal, que, según aumenta la torsión, va disminuyendo en longitud, y, por consiguiente, se aproxima el carretón, que debe tener la suficiente movilidad. Concluída la torsión, se lía el ramal á un grueso carrete; se amarra con filástica; se saca del carrete, y quedan hechos los rollos que se expenden en el comercio. De un modo análogo se procede para colchar los cabos y cables.

El grado de torsión que se ha de dar á los cabos no es indiferente: se había creído que mientras más torcidos estuviesen, tendrían mayor resistencia; pero la experiencia ha demostrado el error: si están muy colchados, se quebrantan las fibras del cáñamo; y si lo están poco, quedan muy flojos, hay poco roce entre aquellas y resbalan con facilidad. Por esta razón á la filástica se le da únicamente la colchadura necesaria para que no se rompan sus filamentos; la de los ramales, según el resultado de muchos experimentos hechos, debe ser la adecuada para que se acorte su longitud en $\frac{1}{4}$, y la de los cabos debe producir un acortamiento de $\frac{1}{4}$ á $\frac{1}{5}$.

Cuando las cuerdas son de más de cuatro ramales, se unen éstos

(1) En cordelería se usa la palabra *colchar* como sinónima de *torcer*.

con imperfección, dejando un claro en el centro que impide se apoyen bien unos en otros, de lo que resulta siempre que alguno se coloca naturalmente en el centro, torciéndose por sí solo, mientras los demás quedan enroscados en él: la cuerda hecha de este modo sería mala, porque el eje sustentaría sólo el peso ó esfuerzo, y no tendría buenas condiciones de resistencia. Para remediar este defecto, los cordeleros acostumbran poner en el centro un ramal, llamado *alma*, al que se arrollan los demás, lo que tiene la ventaja de aumentar la fuerza de la cuerda, sin que crezca proporcionalmente su grueso; el alma tiene, por lo general, el mismo diámetro que los demás ramales. En lugar del cordón central se ha puesto algunas veces una alma de filástica de su mismo grueso, muy poco colchada; pero esto presenta el inconveniente de que por su propia flojedad la filástica absorbe agua, y la conserva mucho tiempo, por no estar inmediatamente expuesta al aire, siendo causa de que se pudran, tanto ella como los ramales.

Cuerdas embreadas.—Las cuerdas pueden ser *blancas* y *negras ó embreadas;* todo lo que precede se refiere á las primeras: las negras ó embreadas se hacen del mismo modo que las blancas, sin más diferencia que untar de brea ó alquitrán las filásticas, antes de formar los ramales, ó bien untar las cuerdas después de hechas. Ya sea de uno ú otro modo, la operación se hace metiéndolas en un caldero de alquitrán caliente, y pasándolas luego por agujeros practicados en una tabla, con objeto de exprimirlas y quitar el exceso de líquido. El alquitrán tiene por objeto resguardar las cuerdas de la intemperie; pero no se logra enteramente, porque al cabo de poco tiempo pierden el baño exterior. Los numerosos experimentos efectuados hasta el día, demuestran que las cuerdas embreadas ofrecen los siguientes inconvenientes respecto á las blancas: 1.°, que el alquitrán destruye las fibras de las cuerdas y las inutiliza, ya se usen en parajes secos ó se conserven en almacenes; 2.°, que expuestas á las alternativas y variaciones del tiempo, duran menos que las blancas; 3.°, que se acentúa considerablemente su rigidez con el frío; 4.°, que con el alquitrán aumentan mucho de peso y de volumen; 5.°, que como las puntas de las fibras del cáñamo se quedan muy pegadas, los fabricantes validos de esta circunstancia, pueden emplear peor material. Á pesar de todo lo expuesto, es preciso embrear las

cuerdas cuando han de estar sometidas á la acción del agua y del aire húmedo y salitroso del mar, que inmediatamente las destruyen: esta es la razón de que la marina use siempre jarcias negras.

Cuerdas forradas.—Cuando las cuerdas han de emplearse en seco, y se las quiere preservar de la influencia atmosférica, al mismo tiempo que de los roces que pudieran destruirlas, se forran con cuero de vaca remojado y bien cosido con bramante.

Cuerdas planas.—Se da este nombre á las formadas por varios cordones no colchados, sino yuxtapuestos y sujetos por ligaduras, constituyendo como una faja plana. Se usan en minería para que, á pesar de sus considerables longitudes, no abulten demasiado cuando se arrollan en los tornos.

Se componen regularmente de 4 ó 6 cordones, y á cada uno se da el grueso correspondiente al $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{6}$ de la carga total que haya de sostener la cuerda.

Condiciones á que han de satisfacer las cuerdas.—Para que las cuerdas sean buenas, han de satisfacer á varias condiciones de calidad y construcción, que exigen se haga un reconocimiento preliminar de ellas y de su resistencia. Para proceder con orden se toma un pedazo de la cuerda que se ha de examinar, y se determina su longitud; se destuerce y se mide nuevamente para ver si está bastante torcida. Se observa si tiene un olor bueno y que no acuse vestigio de humedad; si su color es el natural del cáñamo sin estar manchado, cuyo color puede ser por orden de bondad, argentino, gris-perla, verdoso ó amarillo, advirtiendo que se reconoce si es falso, frotando con un trapo blanco mojado. Debe exigirse que la cuerda presente en sus extremos pocas puntas de las fibras del cáñamo, porque es prueba de que éste tiene buena longitud. Se ve si los ramales son lisos y de grueso uniforme; si la torsión es igual, y en el sentido conveniente; y por último, si la cuerda es dura y flexible, lo que probará que la torsión de la filástica está bien proporcionada á la de los ramales y la de éstos á la de la cuerda.

Las cuerdas se ensayan también, reconociendo si presentan la resistencia correspondiente á sus dimensiones, detalles que se pasan por alto, pudiendo, sin embargo, consultarse el estado que va al final de este artículo, que contiene datos curiosos acerca de las cargas que

pueden sostener las cuerdas, de su peso, del diámetro de las poleas ó tornos en que se arrollan, etc.

Para concluir, se dirá que las cuerdas se alargan considerablemente por la pérdida de su elasticidad, lo que podrá servir de indicio para prever que están próximas á romperse. También hay que tener presente que encogen mucho con la humedad, de cuya propiedad se saca alguna vez partido.

Diámetro de la cuerda. — *Milímetros.*	Mena de la cuerda ó medida de su contorno. — *Milímetros.*	CUERDAS POCO COLCHADAS. Carga que pueden sostener. — *Kilogramos.*	Radio mínimo de las poleas en que se han de arrollar. — *Milímetros.*	Peso del metro lineal de cuerda. — *Kilogramos.*	CUERDAS CON COLCHADURA FUERTE. Carga que pueden sostener. — *Kilogramos.*	RADIO MÍNIMO DE LOS APARATOS EN QUE SE HAN DE ARROLLAR. Tornos. — *Milímetros.*	Tambores y otros aparatos de extracción en las minas. — *Milímetros.*	Peso del metro lineal de cuerda. — *Kilogramos.*
10	28,5	70	30	0,071	100	60	250	0,106
12	34	101	36	0,102	144	72	300	0,153
15	43	158	45	0,160	225	90	375	0,229
20	57	280	60	0,284	400	120	500	0,424
25	71	438	75	0,444	625	150	625	0,663
30	85	630	90	0,64	900	180	750	0,95
35	100	858	105	0,87	1.225	210	875	1,30
40	114	1.120	120	1,14	1.600	240	1.000	1,70
45	128	1.418	135	1,44	2.025	270	1.125	2,15
50	143	1.750	150	1,78	2.500	300	1.250	2,65
55	157	2.118	165	2,15	3.025	330	1.375	3,21
60	171	2.520	180	2,56	3.600	360	1.500	3,82
65	185	2.958	195	3,00	4.225	390	1.625	4,48
70	200	3.430	210	3,48	4.900	420	1.750	5,19
75	214	3.938	225	4,00	5.625	450	1.875	5,96
80	228	4.480	240	4,54	6.400	480	2.000	6,78
90	257	5.670	270	5,75	8.100	540	2.250	8,59
100	285	7.000	300	7,10	10.000	600	2.500	10,60

NOTA. Las cargas que se consignan en el estado precedente, son las que pueden sostener las cuerdas en la práctica. La de rotura se puede estimar, para cuerdas bien colchadas, en unos 510 kilogramos, por centímetro cuadrado de sección. Las que se estampan en las columnas 3.ª y 6.ª del cuadro, son próximamente el $\frac{1}{10}$ y el $\frac{1}{7}$ de las que corresponden á aquel límite.

GOMAS, RESINAS Y OTROS PRODUCTOS.

Clasificación.—Las substancias que, por medio de incisiones, fluyen del tallo de ciertas plantas, son de naturaleza diversa: algunas, como el *alcanfor*, son verdaderos aceites esenciales; otras, como las *gomas*, tienen una consistencia blanda, son más ó menos solubles en el agua é insolubles en el alcohol; otras, que reciben el nombre de *resinas*, son, por el contrario, insolubles en el agua y solubles en el alcohol; por último, hay algunas que no son más que carburos de hidrógeno sólidos, como el *caucho* y la *gutapercha*. Se dirán breves palabras acerca de todas ellas, prescindiendo de los aceites esenciales, que no tienen gran importancia para el constructor.

GOMAS.

Principios que contienen.—Las *gomas* son substancias heterogéneas, que resultan de la unión, en proporciones variables, de los tres principios siguientes:

1.° La *arabina*, base de la *goma arábiga*, que fluye de varias especies de acacias y proviene de la Arabia: es completamente soluble en el agua.

2.° La *cerasina*. La *goma común*, llamada también *del país* y *berberisca*, trasuda de varios árboles frutales, durante la madurez de sus frutos, como del ciruelo, del cerezo y de otros. Esta goma, tratada por el agua, se divide en dos partes: una que se disuelve y otra que no hace más que desleirse; la primera es la arabina y la segunda la cerasina. Ésta no es sino una modificación isomérica de aquella; una ebullición prolongada la convierte en arabina.

3.° La *basorina* ó *dragantina*, que es la parte insoluble de la goma *tragacanto* ó *alquitira*, que trasuda de varias especies de *astragalus*, árboles que se cultivan principalmente en Siria y Creta (1). La parte soluble de esta misma goma es la arabina.

(1) La alquitira se extrae también de otros vegetales, entre los cuales merece especial mención el *granévano*, que abunda en la Mancha.

Propiedades.—Las gomas son substancias neutras, en las que el oxígeno y el hidrógeno entran en la misma proporción que en el agua. Sometidas á la acción del ácido nítrico dan ácido oxálico, $C^2H^2O^4$, y un precipitado blanco, pulverulento, característico, que se ha llamado *ácido múcico*.

Las gomas se emplean en farmacia, pero su principal aplicación en ingeniería la reciben como materias que determinan la adherencia con otras. En el comercio hay muchas resinas que se denominan impropiamente gomas, como la *goma copal*, la *goma laca*, etc.

RESINAS.

Propiedades generales.—Las *resinas* se distinguen de las gomas por su aspecto, su insolubilidad en el agua y su composición. Las resinas son, en efecto, substancias sobrehidrogenadas, combustibles, y que no dan ácido múcico cuando se las trata por el nítrico.

Clasificación.—Se dividirán las resinas en tres grupos: *resinas propiamente dichas*, que son las resinas puras; *gomorresinas*, ó sean las anteriores, mezcladas con productos de naturaleza gomosa; y *óleo-resinas*, *trementinas* ó *bálsamos*, que son resinas que conservan mucha cantidad del aceite esencial en que se encuentran disueltas en los vegetales y se hallan en un estado semilíquido. Sin embargo, la denominación de bálsamos se aplica con preferencia á los productos resinosos que encierran ácido benzoico y un aceite esencial de olor suave y agradable.

RESINAS PROPIAMENTE DICHAS.

Resinas del pino.—Las resinas más importantes son las que proceden del pino. Haciendo incisiones algo profundas en el pino silvestre, se obtiene un líquido viscoso, que es la óleo-resina llamada *trementina*. Ésta se recoge en artesas de madera ó en hoyos practicados al pie del árbol, separándola después de la tierra y trozos de pino que contiene, ya poniéndola al sol en toneles agujereados, encima de otros que no lo estén, ya fundiéndola y colándola á través de capas de

paja. Sometida la trementina á la destilación, se separa una substancia líquida, la *esencia* ó *espíritu* de *trementina*, llamada también *aguarrás* (1), muy empleada en la preparación de barnices; y otra sólida, inodora, rojiza, transparente y muy soluble en el alcohol y el éter, que es la resina llamada *colofonia* ó *pez griega*, que tiene grandes aplicaciones en las artes. La colofonia se compone de tres principios ácidos poco enérgicos: el ácido *pínico*, el *pimárico* y el *silvico*, que se consideran como estados isoméricos de un mismo cuerpo.

La *resina común* difiere muy poco de la colofonia, y se obtiene cuando, en vez de recoger ésta en el momento que cesa el desprendimiento de vapores de aceite esencial, se la vierte hirviendo en un tonel de madera, removiéndola fuertemente con 10 por 100 de agua. El producto que resulta encierra agua combinada, es opaco y menos frágil que la colofonia, y en el alcohol sólo se disuelve la tercera parte de su peso. Esta resina, mezclada con azufre y sebo, forma una materia muy á propósito para calafatear los buques; sirve también para la preparación de un betún de fontanero, que se obtiene fundiendo una parte en peso de resina con dos de ladrillo muy bien pulverizado. Con esta y otras resinas puede fabricarse un gas de alumbrado, de excelente calidad, que no se usa por lo elevado de su coste.

Otras resinas de alguna importancia.—Entre las demás resinas propiamente dichas, se citarán:

1.° La *almáciga*, que fluye por incisiones que se practican en el *pistacia lentiscus*, alfóncigo que crece en la isla de Chío. Su aspecto es semejante al de la *sandáraca*, de que en seguida se hablará, y se usa para la preparación de barnices. Llámase también *másticis*.

2.° La *sandáraca* ó *grasilla*, procedente del arbusto *thuia articulata*, que se cría en Berbería: tiene un color amarillo cetrino; se emplea en la fabricación de barnices, y su polvo se usa en los escritorios para impedir que la tinta se extienda sobre el papel, cuya superficie se ha raspado.

3.° La *resina copal*, llamada impropiamente *goma copal*. Se divide en dos especies: una que se conoce en el comercio con este último nombre, y otra con el de *anime*: la primera procede principalmente de la India, y la segunda de la América del Sur; se extraen del *hymenæa verrucosa* ó del *curbaril*, y son casi insolubles en el alcohol frío: su color es blanco-amarillento ó amarillo-rojizo. La copal, pulverizada y conservada en una estufa, absorbe oxígeno, pierde carbono y se hace soluble en el alcohol y el éter: se saca partido de esta propiedad para la preparación de ciertos barnices.

(1) El aguarrás tiene por fórmula $C^{10}H^{16}$. Algunos autores la escriben $C^{10}H^{14}(H^2)$, y consideran á aquel cuerpo como un bihidruro de cimena.

4.° La *laca* llamada también impropiamente *goma laca;* fluye de varios árboles de la India por la picadura de la hembra de un insecto hemíptero, el *coccus lacca*, parecido á la cochinilla, que le comunica el color rojo. La laca entra en la composición de varios barnices y betunes, sirve para pegar los objetos de barro y loza, y tiene otras muchas aplicaciones.

5.° La *sangre de drago*, resina que se extrae de varios vegetales, que crecen en paises cálidos, como los géneros *calamus*, *dracæna* y *pterocarpus*. Tiene siempre un color rojo más ó menos vivo y se emplea en la fabricación de barnices y como substancia colorante.

6.° La *resina elemi*, llamada también *goma elemi* ó *de limón;* se compone de varias resinas amarillas y odoríferas, que provienen de la familia de las *burseráceas*, que viven en la América meridional.

GOMORRESINAS.

Cuéntanse entre ellas, la *goma amoniaco*, el *asa fétida*, el *incienso*, la *mirra*, la *gutagamba*, etc., pero sólo se dirá algo de la última.

Gutagamba.—La *gutagamba* se obtiene por incisiones, ó bien tronchando las hojas y botones de la *garcinia cambogia*, la *stalagmites cambogioides*, la *esula indica* y otras plantas, y recogiendo el zumo que destilan: dichos vegetales se crían en la isla de Ceilán y en otras localidades. La gutagamba contiene 80 partes de resina amarilla, 19 de goma y una cortísima cantidad de otras substancias. Es soluble en el alcohol, al que da una coloración roja; su disolución amoniacal, origina precipitados de diversos colores, según los reactivos que se emplean. La guta se utiliza mucho en pintura, sobre todo para miniaturas y acuarelas; se usa también para colorir varios barnices.

ÓLEO-RESINAS.

Trementina.—La más importante de las óleo-resinas es la *trementina ordinaria*, cuyo origen y extracción se han explicado ya.

Después de separada la trementina, siempre quedan gotas adheridas al tronco ó en los hoyos donde se recoge: por la acción del calor solar van perdiendo el aceite esencial y se solidifican, constituyendo en este estado la *resina de pino* ó *galipodio*. Esta resina purificada, fundiéndola en el agua y filtrándola por unas capas de paja, da lugar á la *pez de Borgoña, blanca* ó *rubia*, que tiene muchos usos en las artes.

La trementina es la base de varios productos importantes, entre los que se citarán la *pez negra*, el *alquitrán vegetal* y la *brea*. Quemando en un montón ó en un horno particular, los filtros de paja que sirvieron para purificar la trementina ó la resina de pino, y las astillas provenientes de los cortes hechos en los árboles para dar salida á la trementina, se va fundiendo la resina que quedó adherida. Si se mezcla con carbón y se la hace pasar á una caldera con agua para que hierva y tome consistencia, se obtiene la *pez negra*, cuyos usos y propiedades son bien conocidos.

Quemando los pinos cuando ya no dan más trementina, resulta una nueva cantidad de resina carbonizada en parte y mezclada con carbón, que se expende con el nombre de *alquitrán*, que es una materia líquida muy espesa, de color pardo negruzco, semitransparente, de olor muy desagradable, que hierve con facilidad y acaba por transformarse en pez negra. Arde con llama fuliginosa, en medio de la que se ven elevarse burbujas inflamadas. El alquitrán sirve para empegar las jarcias y cascos de los buques, así como en muchas ocasiones las maderas, las tejas y otros materiales de construcción. El alquitrán mezclado con pez negra forma la *brea*, que se diferencia de aquel en que es más consistente y completamente negra. Se usa en el calafateo de los buques, y sustituye al alquitrán en casi todas sus aplicaciones.

En el Norte de Europa se prefiere á todos los alquitranes, el extraído del pino de Escocia: en España es muy estimado el procedente del pino salgareño de la provincia de Jaén *(pinus laricio)*, conocido allí

con el nombre de *alquitrán dulce*, para distinguirlo del *amargo* que dan otros pinos.

CAUCHO Ó GOMA ELÁSTICA.

Procedencia ó preparación.—El *caucho* ó *goma elástica*, contenido en el zumo lechoso de muchos vegetales, se presenta en forma de globulillos en suspensión en un líquido acuoso, del mismo modo que lo están los glóbulos grasos en la leche. La mayor parte del caucho viene de la América del Sur y de Java; los árboles que la producen son el *siphonia cahucha* y el *ficus elástica*. La savia lechosa de estos árboles contiene cerca de un 30 por 100 de caucho: abandonada á sí misma, los glóbulos de goma elástica suben á la superficie, porque son más ligeros que el agua, y forman una crema viscosa. Esta separación se hace más fácilmente si se aumenta la densidad del agua añadiéndole sal común.

Para recoger el caucho se practican incisiones profundas en la parte baja de las plantas que lo producen, y se recibe en vasos de barro el líquido que destila; este líquido, encerrado en botellas herméticamente tapadas, se puede transportar y conservar mucho tiempo sin que sufra alteración sensible. La mayor parte del caucho que se encuentra en el comercio tiene la forma de peras, lisas ó recubiertas de dibujos en hueco, y generalmente de color obscuro. Para obtener estas peras, los indios fabrican con arcilla moldes de aquella forma, sobre los cuales extienden capas sucesivas de zumo lechoso, que coagulan al sol, ó más comúnmente, exponiéndolo á un fuego de ramaje. Cuando el caucho ha adquirido el espesor conveniente, sumergen el molde en el agua; ésta deslíe la arcilla, que se puede hacer salir por el gollete en que termina la botella de caucho. El color obscuro de la substancia se debe á las materias fuliginosas que se depositan durante la desecación al fuego.

Para obtener el caucho puro, es necesario recurrir al mismo zumo lechoso; se mezcla éste con 4 veces su peso de agua, y se deja reposar veinticuatro horas; los glóbulos de goma se reunen en la superficie, formando una especie de nata, que se saca y se agita en una nueva cantidad de agua, cuya densidad se aumenta con un poco de

sal común y de ácido clorhídrico; después de un tiempo más ó menos largo, el caucho se reune otra vez en la superficie, se separa y se sujeta á nuevas lociones, hasta que el agua no disuelva nada. La materia se comprime en seguida entre dos papeles de filtro y se seca en el vacío, por medio de la máquina neumática. El caucho así preparado es una substancia blanca y elástica, que tiene por densidad 0,925. Contiene próximamente 87,2 partes de carbono por 12,8 de hidrógeno, de suerte que su fórmula química no se apartará mucho de C^7H^{12}.

Propiedades y aplicaciones.—Con el caucho en forma de peras se hacen todas las preparaciones que utiliza hoy día la industria, empleándose procedimientos mecánicos muy variados, que no pueden describirse aquí. La elasticidad del caucho y su impermeabilidad le hacen muy estimado para multitud de objetos de cirugía y de tocador; se usa también con frecuencia en los laboratorios de química y física; se aplica asimismo con buen éxito para cubrir telas y hacerlas impermeables.

El caucho es duro á una baja temperatura, pero se ablanda mucho por el calor; á 25° tiene gran flexibilidad. Se funde á 120° y da entonces un líquido viscoso que no recobra su estado primitivo sino al cabo de bastante tiempo; si se sigue calentando el líquido, adquiere más fluidez y queda indefinidamente viscoso, á pesar del enfriamiento. El caucho fundido y desleído en una pequeña cantidad de aceite graso, se emplea con buen resultado para engrasar las llaves. En contacto con un cuerpo en combustión, arde con llama muy fuliginosa. Si se calienta hasta la destilación, se transforma en muchos aceites esenciales, más ó menos volátiles, que á su vez se modifican por nuevas destilaciones.

El caucho es insoluble en el agua y en el alcohol; el agua hirviendo lo ablanda y lo entumece, pero no lo disuelve; el éter, las esencias y el sulfuro de carbono, por el contrario, lo disuelven fácilmente, y dan líquidos que depositan, después de su evaporación espontánea, una capa de caucho, elástica é impermeable, sobre los objetos que se han mojado con aquellas disoluciones.

Caucho vulcanizado.—El caucho calentado en contacto con azufre á una temperatura de 80° á 100°, ó sumergido durante algunos minutos en una mezcla de 40 partes de sulfuro de carbono y 1

de cloruro de azufre, experimenta modificaciones notables en sus propiedades físicas, y sobre todo, en su elasticidad. Así, al paso que el caucho común es blando á más de 10° y se hace muy duro y quebradizo á una temperatura menor, el modificado por el azufre, ó *vulcanizado,* como se le suele llamar, permanece perfectamente elástico, aun expuesto á fríos intensos. El caucho vulcanizado no se hace pegajoso como el ordinario á una temperatura algo elevada, y hoy día se emplea para multitud de usos, pues se ha conseguido darle bastante dureza é inalterabilidad para que pueda reemplazar en sus aplicaciones á la ballena, al asta, á la concha y á otras substancias.

GUTAPERCHA.

Propiedades y aplicaciones.—Se encuentra en el comercio una materia de origen orgánico, que presenta en sus propiedades físicas y químicas mucha analogía con el caucho; es la *gutapercha,* con la cual se fabrican las correas para las transmisiones de movimiento de las máquinas, y multitud de objetos que necesitan una gran solidez acompañada de no menor flexibilidad. Esta materia viene de la India y de China, y se tiene por seguro que se extrae como la goma elástica, del zumo de ciertos vegetales.

La gutapercha es de color blanco agrisado, de consistencia parecida á la del asta y de escasísima elasticidad. Se ablanda y se hace algo elástica por una elevación de temperatura, recobrando su dureza después del enfriamiento: esta propiedad la hace á propósito para tomar impresiones muy delicadas; hoy se emplea la gutapercha en los moldes destinados á la galvanoplastia.

Arde como el caucho, con llama brillante y fuliginosa. El agua, el alcohol y los líquidos ácidos ó alcalinos, no tienen acción sobre ella, pero el éter y las esencias la ablandan desde luego y la disuelven en seguida. Su composición elemental difiere poco de la del caucho, pues parece que el carbono y el hidrógeno entran en la relación de 87,8 á 12,2.

TERCERA SECCIÓN.

MATERIALES METÁLICOS.

Entre todos los metales que se emplean en la construcción, sobresale el hierro, por su importancia extraordinaria. La mayor parte de esta sección se consagrará al estudio de aquel material, cuyas aplicaciones adquieren de día en día mayor desarrollo. Aun cuando para el Ingeniero tengan interés más limitado, algo se habrá de decir, sin embargo, de otros metales que, como el cobre, el plomo, el zinc y el estaño, se emplean también en las obras públicas.

Es raro encontrar los metales en estado nativo; casi siempre hay que separarlos de los cuerpos con que están combinados, constituyendo las *menas;* pero en general estas últimas se hallan mezcladas con substancias de composición muy variada, que se llaman *gangas.* La reunión de éstas y aquellas da lugar á los *minerales metálicos,* que se extraen directamente de la tierra por explotaciones al descubierto ó subterráneas. La *Metalurgia* es la parte de la Química industrial que tiene por objeto *beneficiar* los minerales, es decir, extraer de ellos el metal que contienen, operación que sólo puede realizarse económicamente cuando la mena es bastante rica, para que el valor del metal obtenido compense con creces los gastos que su beneficio exija. Al tratar de los diversos metales que se han de estudiar, se empezará por dar á conocer los principales procedimientos metalúrgicos que se usan para su extracción, pero exponiendo tan sólo breves nociones, pues que su estudio detallado corresponde á los Ingenieros de Minas.

El beneficio de los minerales casi nunca puede hacerse directamente: es indispensable someterlos á preparaciones previas, cuyo objeto es separar, en cuanto sea posible, la mena de la ganga. Estas preparaciones son en la esencia las mismas para todos los minera-

les metálicos, de suerte que es lógico principiar por describir, á manera de introducción, las operaciones que suelen comprender. También se dará después una idea de las diversas clases de hornos que se emplean en los trabajos metalúrgicos.

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES.

MINERALES DE HIERRO.

Los minerales de hierro han de ser muy ricos en metal para que su beneficio pueda hacerse en buenas condiciones económicas; la ganga es casi siempre arcillosa, y se separa fácilmente de la mena, dejando el mineral expuesto por algunos meses á los agentes atmosféricos, que poco á poco van desagregando la arcilla. En otras ocasiones, la separación se efectúa sometiendo los minerales, en pequeños fragmentos, á la acción de una corriente de agua, en la que se agitan aquellos, por medio de palas ó ruedas de paletas: el líquido arrastra la arcilla y se recoge en el fondo la mena casi pura.

OTROS MINERALES METÁLICOS.

Otros minerales metálicos tienen que sufrir preparaciones mucho más minuciosas, que pueden dividirse en *separación* y *clasificación, trituración, lavado* y *torrefacción ó calcinación.* De todas ellas se dirán breves palabras, advirtiendo que un mismo mineral no exige, en la mayoría de los casos, que se le someta más que á algunas de las operaciones previas indicadas.

Separación y clasificación.—Tienen por objeto dividir el mineral tal como se extrae, en tres partes: una, que por estar compuesta casi exclusivamente de mena, se lleva desde luego á los hornos; otra, cuyos fragmentos están formados casi en su totalidad de ganga, que se desecha, y otra, en que ésta y aquella están mezcladas y que debe someterse á las operaciones que siguen.

Esta primera preparación se verifica ordinariamente á mano por

mujeres ó peones menores, que provistos de martillos, mazas ó almadenas, empiezan por reducir el mineral á fragmentos del tamaño de una nuez.

Trituración.—Los fragmentos de mineral que se han incluido en la tercera clase pasan á los aparatos de trituración, que son de tres especies: *cilindros, bocartes* y *molinos*, usándose generalmente los dos primeros, que son los que se describirán.

Cilindros.—Dos clases de cilindros se utilizan para la trituración, unos *acanalados* y otros *lisos*, todos de hierro fundido muy duro. Empléanse los primeros para triturar fragmentos de tamaño relativamente grande, reservándose los segundos para los de pequeña dimensión y para los procedentes del trabajo de los anteriores.

Los trituradores lisos constan de dos cilindros, *A* y *B* (fig. 177); el *A*, recibe el movimiento de una rueda hidráulica ú otro motor cualquiera, y arrastra en su movimiento al *B:* ambos cilindros se apoyan en cojinetes, *K* y *L*, fijos los primeros y móviles los segundos, á lo largo de las guias *ab* y *cd*. Encima de los cilindros hay una tolva por la que se echa el mineral á paladas. Se impide que el cilindro *B* tienda á separarse del *A*, por medio del contrapeso *P*, que actúa en el extremo de una larga palanca, *ST*.

Los trituradores acanalados (fig. 178) no difieren de los anteriores, sino en que sus superficies presentan entalladuras longitudinales.

El mineral triturado en estos últimos cilindros se recoge en una criba inclinada, cuyos orificios superiores son de pequeño diámetro y de seccion mayor los inferiores: con esta disposición y mediante las sacudidas que de vez en cuando se imprimen á la zaranda, se consigue clasificar los pedazos por órden de magnitud, separándose los demasiado grandes, que no se someten á la acción de los cilindros lisos sin partirlos de nuevo en los acanalados.

Criba hidráulica.—Después de pasar el mineral por los dos géneros de cilindros, se somete á una nueva clasificación, análoga á la explicada, que se verifica en la *criba hidráulica* (fig. 179). Este aparato se compone de una zaranda cilíndrica, *C*, cuyo fondo está constituido por una tela metálica bastante tupida para impedir que pasen á través de sus mallas los fragmentos de mineral: esta zaranda va unida á una varilla de hierro, *h*, articulada á la palanca horizontal *gh'*, que se equilibra con el contrapeso *P;* la zaranda se sumerge en una cuba, *B*, llena de agua, pudiéndola mover el operario, actuando en la manija *f*, y haciendo subir ó bajar la pieza de madera *E*, que entra en el cilindro *D*, que le sirve de guía. El mismo peón llena hasta la mitad la zaranda de mineral, que, reducido á fragmentos de 5 á 6 milímetros de dimensión máxima, ocupa la mesa, *A*, y sacude bruscamente la criba dentro del agua; por efecto de esta sacudida, el agua penetra por las mallas y levanta el mineral, que se encuentra así abandonado á la fuerza de la gravedad: como los fragmentos tienen un volumen casi idéntico, se separarán por orden de densidades, y al cabo de cierto tiempo, y en virtud de los movimientos alternativos de la zaranda, la separación será ya completa y quedará en el fondo de aquella una capa de mena casi pura; en la parte media se hallará ésta algo mezclada con la ganga, la cual quedará casi en su totalidad en la parte superior.

El mineral que ocupa la parte media de las cribas pasa á los *bocartes*.

Bocartes.—Estos aparatos (fig. 180) se componen de una batería de almadenetas, *P, P*, que no son otra cosa más que varillas de madera provistas de pilones ó calzos de hierro, que van montadas en un bastidor que les permite un movimiento alternativo vertical: para comunicárselo llevan unos topes, *t*, que se levantan por la acción de los álabes, *a*, de un árbol horizontal, *xy*, al que imprime la rotación una rueda hidráulica ú otro motor cualquiera. Con objeto de que no sea muy grande el esfuerzo, se colocan los topes á diferentes alturas, y de tal suerte, que la resistencia que opongan sea casi uniforme.

Las almadenetas trituran y comprimen el mineral en una caja, *u*, cuyo fondo está formado por una placa gruesa de palastro, *AB*, clavada á un fuerte tablón, *CD*, establecido todo en un sólido macizo de fábrica. Las paredes laterales de la caja están formadas por rejillas ó chapas de hierro en las que se han practicado orificios.

Una corriente de agua llega constantemente á la caja: el mineral triturado permanece en suspensión en el líquido, pasa por los orificios laterales á las canales *E, F*, y de ellas á otra serie de canales con poca pendiente, donde los fragmentos grandes se depositan cerca del aparato, más allá los menores, y la parte más fina, que tarda mucho en depositarse, lo hace en grandes capacidades de poco fondo dispuestas al efecto: de esta suerte se consigue la separación de la parte

beneficiable, de la ganga, y del mineral que debe lavarse para someterlo á una nueva clasificación.

Lavado.—El principio físico en que se funda el *lavado* es exactamente el mismo que explica el modo de funcionar las cribas hidráulicas y los bocartes. Muy variadas son las disposiciones que se emplean, y los límites de esta obra no permiten que se describan todas, por lo cual sólo se dará una idea de las más comunmente empleadas, que son: las *cajas fijas*, las *mesas durmientes*, las *mesas móviles* ó de *percusión* y las *mesas cónicas*.

CAJAS FIJAS.—No son más que cajas de madera de forma semejante á un ataúd y cuyo fondo presenta cierta inclinación. Están cerradas en *C* (fig. 181), por una tabla en que hay practicadas varias aberturas á distintas alturas, que permanecen cerradas durante el trabajo. En el otro extremo hay una banqueta, *A*, donde se coloca el mineral, que, arrastrado por una corriente de agua, cae en la caja *BC*, y se va depositando á diferentes distancias de la banqueta. Cuando la caja está llena de agua, se interrumpe la corriente, se abre uno de los orificios inferiores de *C*, pasando por él las aguas turbias que llevan en suspensión las partes más tenues, las que van depositándose en una canal *UU'*, que las conduce á extensos depósitos, en que abandonan las partículas finas que arrastran. El mineral que se deposita en el fondo de la caja se separa por orden de densidades, encontrándose en la parte más próxima á la cabeza, mena casi pura, y en la media é inferior, mineral que debe lavarse de nuevo en otras mesas.

Mesas durmientes.—Se llaman también *gemelas*, porque por lo general van pareadas. Son parecidas á las anteriores, y constan de una tabla de 7 á 8 metros de longitud, con una inclinación que depende de la naturaleza del mineral que deba lavarse, pero que, por término medio, es de 0,12; las mesas están guarnecidas de listones de muy poca altura, para impedir que el agua se derrame por los costados.

El mineral se coloca en una caja, *M* (fig. 182), á la que llega constantemente un filete de agua, agitándose la mezcla por medio de la ruedecilla de paletas *R*, que recibe el movimiento de otra rueda de cajones *S*, que á su vez gira en virtud de la caída del agua que lleva la canaleja *oo'*. El mineral se pone así en suspensión en el líquido, el

cual pasa á otra canaleja, *xx'*, dispuesta en la cabeza de las mesas, y desde allí penetra en éstas por las aberturas *A* (fig. 183). El plano *A* (fig. 182), tiene demasiada inclinación para que se deposite en él el mineral, que pasa en totalidad á las mesas propiamente dichas, extendiéndose el líquido por toda la superficie, merced á los topes de forma de prismas triangulares que lleva el plano *A* (fig. 183), que determinan una serie de choques. Las materias más ricas se depositan en la parte superior de las mesas; las más pobres en la inferior, ó bien son arrastradas hasta la canal *CC'* (fig. 182), de donde pasan á depósitos de sedimentación, *D*, *D'*.

Cuando la mesa está cubierta de cierta cantidad de mineral, se interrumpe el filete de agua que se dirigía á la caja *M*, y lleva el operario, con una escoba, á la parte superior de la mesa, todo cuanto en ella se había depositado: en seguida hace llegar al montón así formado un filete de agua limpia, que arrastra las arenas pobres que accidentalmente se hubieran depositado, quedando sólo las más ricas, que en la generalidad de los casos podrán beneficiarse desde luego. Se barren estas arenas, y se les da salida por unas aberturas *uu'*, *vv'*, practicadas al efecto en la parte inferior de las mesas, y que están cerradas durante la operación, recogiendo las arenas en cajas situadas debajo.

Mesas de percusión.—Se componen (fig. 184) de un suelo inclinado, *BC*, apoyado en fuertes tablones para darle peso considerable y gran solidez. El suelo está suspendido por cuatro cadenas ó varillas de hierro articuladas, *ab*, *a'b'*, *tt*, *t't'*; las dos primeras van unidas á apoyos fijos; las últimas á una larga palanca, *LL'*, que gira alrededor del eje *OO'*, por cuyo medio se puede variar la inclinación del suelo *BC*; varios pasadores de hierro, que se fijan á la altura que convenga en el pie derecho *xz*, mantienen la palanca en la posición que se haya adoptado.

El árbol horizontal, *XX*, puesto en movimiento por una rueda hidráulica ú otro motor, está provisto de álabes *c*, *c*, que al apoyarse en la palanca acodada *K*, hacen que ésta empuje hacia adelante al suelo *BC*, abandonándolo luego á su propio peso; al caer, choca aquel con tablones fijos que producen una violenta sacudida. En el extremo, *B*, del suelo hay un plano inclinado, *A*, con topes prismáticos, análogo al representado en la figura 183.

El mineral se deslíe en la caja V (fig. 184), á la que llega una corriente continua de agua por la canal u; la mezcla se agita constantemente con una rueda de paletas, ú otro medio cualquiera, y el líquido que lleva en suspensión las arenas, pasa por la abertura A á la mesa BC, en la que tienden aquellas á depositarse, lo que no efectúan al momento á causa de los repetidos sacudimientos del suelo, que separan nuevamente las partículas, las vuelven á poner en suspensión, hacen que se depositen otra vez, y así se obtiene la separación por densidades y tamaños de una manera perfecta.

La diferencia principal entre estas mesas y las anteriores se reduce á que en las durmientes se remueven á brazo las materias depositadas, al paso que en las que se acaban de describir, efectúa esa operación el mismo aparato.

Por último, debe observarse que, según sea la naturaleza del mineral, se harán variar la inclinación de la mesa, el número y amplitud de las sacudidas y la cantidad de agua que conserva las arenas en suspensión.

Mesas cónicas.—Muy variadas son las disposiciones que ofrecen estas mesas; así es que sólo se describirá una de las más sencillas, para que se comprenda el principio en que se fundan.

La figura 185 representa, en corte y planta, la llamada *round-buddle*, empleada con buen éxito en Inglaterra. Consta del cono A, hecho de tablas, dentro del dornajo ó artesón cilíndrico B, revestido también de tablas y practicado en el mismo suelo del taller. Las arenas, puestas previamente en suspensión en el agua, por una disposición cualquiera, corren por la canaleja h y caen en el distribuidor, que se reduce á tres conos, dos de ellos, C, de madera y móviles alrededor del eje vertical b, y el tercero, C', fijo y de fábrica. Van depositándose las substancias por zonas en la mesa A, las más ricas en la parte superior; pudiéndose recoger con las escobillas i, suspendidas á los brazos giratorios d, d, del eje b, por medio de cordones que, pasando por rodillos fijos, terminan en contrapesos, que sirven para graduar á voluntad la altura é inclinación de aquellas.

Torrefacción ó calcinación.—Tiene por objeto someter el mineral á una temperatura bastante elevada, ya para que se desprendan los productos volátiles ó susceptibles de formar combinaciones que lo sean, como el azufre, el fósforo, el arsénico, el anhidrido

carbónico, etc., que pudieran perjudicar á la buena calidad del metal; ya para desagregar los minerales y facilitar las reacciones que han de verificarse al beneficiarlos.

Cuando se reducen los minerales en los hornos altos suele suprimirse esta operación, por verificarse sus efectos en la parte superior de aquellos, como se verá al describirlos. Fuera de este caso, convendrá practicar la calcinación por separado, bien sea al aire libre, bien en hornos parecidos á las caleras.

La operación es fácil de ejecutar, y sólo exige se cuide de la igual repartición del fuego y de no elevar mucho la temperatura, á fin de no fundir el metal, deteniéndose en aquella que sea conveniente, según las circunstancias.

HORNOS.

Los *hornos* que se emplean en las operaciones metalúrgicas, son construcciones ejecutadas con materiales refractarios, á lo menos en su parte interior, en las cuales existe una capacidad que sirve de laboratorio para el trabajo y transformación de las substancias, por la acción del calor.

Clasificación.—La clasificación más admitida de los hornos está fundada en la manera de obrar el combustible sobre la materia, y se distinguen, desde este punto de vista: 1.°, los *hornos de cuba*, en los que de ordinario las substancias y el combustible están en contacto; 2.°, los *hornos reverberos* ó *de llama*, en los cuales la materia no está en contacto con el combustible sólido empleado, pero sí con la llama ó gases, producto de la combustión; 3.°, los *hornos de crisoles* ó *de retortas*, en los que la materia sometida á la acción del calor no está en contacto directo con el combustible sólido ni con la llama.

En todos los hornos, el aire necesario para la combustión y para las reacciones, se obtiene unas veces por el tiro determinado por una ó más chimeneas, llamándose entonces de *corriente natural*, y otras se inyecta con máquinas sopladoras, recibiendo el nombre de *hornos de corriente forzada*.

En lo sucesivo habrán de describirse con algún detalle hornos de

todas estas especies; así es que ahora bastará decir los elementos esenciales de que se componen los correspondientes á cada una, para cuya exposición se extractará lo que sobre este asunto se consigna en el *Álbum de Metalurgia general* del Sr. Ibrán.

Hornos de cuba.—Toman su nombre de la forma del vaso interior; por lo general, son de corriente forzada, y como antiguamente se usaba una manga de cuero para conducir el aire desde la máquina sopladora, se acostumbra á llamarlos *hornos de manga*.

Los hornos de cuba comunes constan de *plaza, laboratorio* y *chimenea*.

La *plaza* constituye la parte inferior del horno y se hace de materia muy refractaria, mezclada á veces con carbón, formando un aglomerado, que recibe el nombre genérico de *hormigón*. En la parte de la plaza inmediata á la *delantera* del horno, ó sea al sitio por donde se ha de dar salida á la substancia fundida, se construye una cavidad de forma variada, que se llama *crisol*, la cual comunica con el exterior por una ó dos canales practicadas en los costados de la delantera y que se denominan *canilleros* ó *agujeros de sangría*.

El *laboratorio, vaso* ó *cuba,* es la capacidad prismática, cilíndrica ó cónica, en que se verifican las reacciones; tiene comunicación con el exterior por tres puntos principales: el *tragante* ó *cargadero*, por donde se introducen las substancias; los *orificios de tobera*, para la entrada del aire, y el *bigote* ó abertura por donde corre la materia fundida que se desecha.

La *chimenea*, aunque no es de necesidad absoluta, se suele emplear en los hornos de cuba para dar dirección á los humos, evitar que incomoden á los operarios y conseguir que no retroceda la columna gaseosa á su salida por el tragante. Por regla general, la altura de la chimenea no pasa de 3 á 4 metros.

Los hornos altos que se usan para el beneficio de los minerales de hierro, son hornos de cuba especiales, que se describirán muy pronto.

Hornos reverberos.—En los *hornos reverberos, de reverbero* ó *de llama*, las substancias están en contacto con los gases de la combustión, que producen la temperatura necesaria y además los efectos oxidantes ó reductores que casi siempre se necesitan en las operaciones metalúrgicas. El combustible que se emplea es, por lo común,

de llama larga, como leña, hullas secas, ramaje y monte bajo. De ordinario los reverberos son hornos de corriente natural, aunque también los hay de corriente forzada. Sus elementos esenciales son el *hogar*, el *laboratorio* y la *chimenea*.

El *hogar* está dividido en dos compartimientos por la *parrilla;* el superior es el hogar propiamente dicho, donde se quema el combustible, y el inferior el *cenicero*. Cada compartimiento tiene su puerta: la del primero sirve para cargar el combustible, y la del segundo para dar entrada al gas comburente y para extraer las cenizas. El hogar, generalmente de forma prismática, está cubierto por una bóveda, que deja la abertura necesaria para que la llama penetre en el laboratorio; tanto la bóveda como las paredes del hogar se hacen de buena fábrica refractaria. El macizo que establece la separación entre el hogar y el resto del horno, se llama *puente, tranco* ó *altar*, y es donde se produce la temperatura máxima.

El *laboratorio* de los reverberos es la parte comprendida entre el puente y la chimenea; en él se encuentran la *plaza*, las *puertas*, la *bóveda* y el *tragante*. La *plaza* constituye la solera del laboratorio; tiene en planta forma rectangular, trapecial ó elíptica, cortando los ángulos interiores con chaflanes ó líneas curvas, cuando la sección es poligonal. El macizo de la plaza es unas veces de hormigón de arcilla y carbón; otras de mampostería ó arcilla, y terminado en su parte superior por ladrillos refractarios; y otras, como en los hornos de pudelar, se forma con una plancha de hierro fundido, sobre la que se dispone un lecho de arena, escorias, etc.

Cuando la materia fundida ha de extraerse del interior del horno, en ciertos períodos, se necesita hacer un corte cónico en la plaza, que se denomina *pila* ó *crisol*, en el que se reune la substancia líquida, dando al efecto la correspondiente inclinación á la solera. En el mismo macizo de la plaza se practica una canal ó *canillero*, que se tapa durante el trabajo, con un obturador de arcilla, y que enlaza el crisol con un recipiente exterior, en el que cae el metal fundido.

Las *puertas* ó *ventanillas* de los reverberos sirven para arreglar el acceso del aire, para introducir por ellas las herramientas con que se trabaja, y muchas veces, sobre todo en España, para cargar el horno. Reciben estas aberturas diferentes nombres, según que estén en uno ú otro frente y según su posición respectiva en cada uno: así

se llaman *de la delantera, de la trasera, de la pila, de la chimenea, de arriba* ó *de abajo*. Los huecos de las puertas se cierran á voluntad, con planchas de hierro colado.

La *bóveda* constituye el cielo del laboratorio; es continuación de la que cubre el hogar, y va descendiendo desde el plano vertical del puente hasta la comunicación de la plaza con la chimenea. La sección longitudinal de la bóveda tiene figuras variadas: la transversal es casi siempre elíptica. Se construye con materiales muy refractarios, y á veces se dejan en ella aberturas donde encajan tolvas de palastro, de forma de tronco de pirámide cuadrangular, que sirven para introducir la carga. La bóveda y el conjunto del laboratorio se refuerzan exteriormente con armaduras metálicas, que se conocen con el nombre de *engatillados*.

El *tragante* es la parte del laboratorio, que da paso á los gases que en él se reunen, ya procedentes del combustible que se quema en el hogar, ya de las reacciones que se producen en el horno. El tragante está formado por una canal horizontal, ó ligeramente inclinada hacia la chimenea, y abierta de ordinario en el muro opuesto al del puente, aunque á veces se practica en uno de los perpendiculares á aquel. En ocasiones hay dos tragantes aislados ó que se reunen en uno á cierta altura para desembocar juntos en la chimenea.

La *chimenea* es el conducto vertical de ladrillos ó palastro, colocado á continuación del tragante, y que sirve para dar salida á los humos y substancias volátiles, y para establecer el tiro. Cuando los tragantes son cortos, como acontece en la mayoría de los casos, las chimeneas están yuxtapuestas á los hornos y les basta una altura de 10 á 15 metros; pero si están aisladas y separadas de los reverberos por tragantes largos, llega su elevación hasta 30 y 35 metros, disposición que se adopta asimismo cuando de los hornos se desprenden materias nocivas á la economía animal ó vegetal.

En los reverberos, lo mismo que en todos los aparatos de caldeo, es preciso poner en el tragante, en la parte baja ó en la alta de la chimenea, *registros* destinados á regular el tiro, que se reducen á planchas de palastro ó hierro fundido.

Hornos de crisoles y retortas.—En estos hornos se colocan las substancias en vasos de arcilla refractaria, que según su forma se llaman *crisoles, retortas, muflas,* etc. Dichos recipientes están

rodeados de carbón candente ó expuestos á la acción de la llama. En el primer caso, el horno es una especie de cuba, con una rejilla en la parte inferior, sobre la cual se pone un apoyo que sostiene el crisol; á esta especie pertenecen los hornillos de los laboratorios y los hornos para fundir acero, que se describirán más adelante. En el segundo caso, los hornos presentan á veces disposiciones semejantes á los reverberos, como ocurre en los que se emplean para preparar el latón; otras veces carecen de plaza, y las vasijas se ponen directamente sobre el hogar, escapándose los gases por aberturas practicadas en la bóveda, á cuya categoría corresponden los hornos belgas para la reducción de la calamina.

Dentro de esta clase de hornos pueden clasificarse también los que contienen una mufla de grandes dimensiones, alrededor de la que circula la llama, como sucede en los que se usan para preparar el acero cementado. Tienen analogía con el horno de copela de los laboratorios, con la diferencia de que la mufla no se caldea con carbones candentes, sino con los productos de su combustión.

Otras clases de hornos.—Hay otra porción de hornos, que no es fácil clasificar. Tales son los llamados *hogares,* que comprenden, entre otras, las *fraguas* ó *forjas catalanas* y las de *afinación,* en que si bien el combustible está en contacto directo con el mineral, las toberas actúan en la parte superior, y carecen por tanto de cuba. En otros hornos, por el contrario, el mineral no está en contacto con el combustible sólido, y sin embargo, el vaso tiene la forma de cuba; así sucede, por ejemplo, en los hornos de Almadén y de Idria para el tratamiento del mercurio, y en los que se han descrito en la primera sección de esta obra para la calcinación con llama de las piedras calizas.

HIERRO.

Menas de que se extrae (1).—Varios son los estados en que se encuentra el hierro en la naturaleza; no se enumerarán ni se describirán detenidamente, pues para el estudio que se ha de emprender, bastará indicar que las menas de hierro que se benefician con más frecuencia son: el *anhidrido férrico*, llamado por los mineralogistas *hierro especular, oligisto ó hematites roja;* el *hidrato férrico*, á que dan aquellos el nombre de *hematites parda;* el *óxido magnético*, y por último, el *carbonato férrico ó hierro litoide*, que es casi el único explotado en Inglaterra, en cuyas minas de hulla se encuentra con profusión, particularidad á que se debe, en gran parte, la mucha importancia que en aquel país ha adquirido la preparación del hierro.

En resumen, puede decirse que las menas de hierro que se acostumbra beneficiar, no son más que óxidos y carbonatos de este metal. Á la primera categoría, es decir, á los óxidos, corresponden los abundantes minerales que se explotan en la provincia de Vizcaya, algunos de los cuales se benefician en la misma localidad, pero que en su mayoría se exportan á Inglaterra. Los hierros suecos, tan estimados en el comercio, se extraen generalmente del óxido magnético ($Fe^3 O^4$).

Propiedades.—Se recordarán ahora varias propiedades físicas y químicas de este metal, para la cabal inteligencia de lo que va á seguir.

Propiedades físicas.—El hierro presenta un color gris azulado, es maleable, dúctil y muy tenaz. Cuando es puro no se puede fundir por los medios ordinarios, pero á una temperatura elevada se ablanda y se suelda consigo mismo, tomando por la acción del martillo

(1) Tanto al hablar de las propiedades como de la metalurgia del hierro y de los demás metales, será necesario repetir, para la debida claridad, caracteres y reacciones que se estudian en los cursos de Física, Mineralogía y Química.

todas las formas que se quiera; cuando está combinado ó mezclado con cierta porción de carbono, constituyendo el *hierro fundido ó colado*, es fusible á la temperatura producida en los hornos altos.

La textura es granuda; mas por el trabajo con los laminadores ú otras máquinas, se hace nerviosa y fibrosa; la fractura es blanca y brillante.

Propiedades químicas.—Al aire seco no se altera el hierro, pero en contacto con la humedad se cubre pronto de una capa de hidrato férrico: esta oxidación se debe al anhidrido carbónico que contiene el aire; por la acción de aquel y del oxígeno, se forma un carbonato ferroso, que por ser muy poco estable, se transforma en hidrato férrico, mediante la absorción de una nueva cantidad de oxígeno y de agua. El anhidrido carbónico desprendido en esta transformación, facilita la oxidación de una nueva cantidad de hierro, á la que contribuye enérgicamente un fenómeno eléctrico; en efecto, el hierro y la pequeña capa de óxido de que se cubre su superficie, constituyen un par, cuyo elemento positivo es el metal; el par tiene suficiente potencia para descomponer el agua de la atmósfera, y el oxígeno de aquella se combina con el metal, formando una nueva capa de óxido y aumentándose la fuerza del par, lo que se comprueba observando que, en cuanto empieza á manifestarse la oxidación en un punto del metal, se extiende á su alrededor con rapidez creciente. Á una temperatura elevada se oxida también el hierro, por cuyo motivo deberá trabajarse con cuidado, caldeándolo las menos veces posibles.

Diversos estados en que se emplea el hierro.—Los estados en que se emplea este metal son tres: el de *hierro dulce ó maleable*, el de *hierro fundido ó colado* y el de *acero;* los dos últimos resultan de combinaciones ó mezclas del hierro con proporciones variables de carbono ú otros cuerpos, como más adelante se verá.

METALURGIA DEL HIERRO.

Sistemas de beneficio.—Dos son los procedimientos que se siguen ordinariamente para la extracción del hierro: el *catalán* y el de los *hornos altos*; por el primero se puede obtener desde luego hierro dulce, siendo el producto de los segundos hierro colado, el cual,

por métodos que se estudiarán en su lugar, se transforma en hierro dulce.

PROCEDIMIENTO CATALÁN.

Descripción de las fraguas.—En el procedimiento catalán, que es el más antiguo, se verifica la reducción del metal en las *forjas* ó *fraguas* llamadas *catalanas*, que consisten (fig. 186) en un hogar abierto, cuyo fuego se activa por medio de fuelles ó ventiladores, que no se describirán. El aire de estos fuelles penetra por la tobera *T*, que es de cobre y de forma tronco-cónica, desprendiéndose los gases de la combustión por la parte superior, y acumulándose el metal y escorias en el espacio *M*, que se llama *crisol*. Éste consiste en un recipiente cuadrangular de unos $0^m,70$ de profundidad, apoyado en uno de los muros de la ferrería, y establecido en un macizo de grandes piedras unidas con arcilla refractaria. El fondo del crisol no descansa directamente en el suelo, sino en bovedillas de fábrica, á fin de evitar que penetre en él la humedad, lo que tendría graves inconvenientes: encima de las bóvedas hay una capa de arcilla y escorias, substancias que evitan las pérdidas de calor por radiación, y todo está cubierto con una losa de granito, que es la *solera* del crisol.

La pared de éste, opuesta á la tobera, se llama *lado del contraviento* ú *ore;* es algo curva é inclinada y se construye con piezas de hierro, *S*, en forma de dovelas. La pared por que penetra la tobera recibe el nombre de *forja:* es vertical y está constituída por piezas, *t*, también de hierro, apoyándose la tobera en la superior. Se denomina *escoriadero* ó *mano* el muro de delante, en que está practicada la *piquera* ú orificio que sirve para sangrar el crisol, dando salida á las escorias; la mano es vertical y de unos $0^m,65$ de altura, y está formada por tres piezas de hierro, sirviendo la central de punto de apoyo á los *espetones* ó *hurgones* que manejan los operarios durante el trabajo. La cara opuesta al escoriadero se conoce con el nombre de *cava;* tiene una ligera inclinación de dentro á fuera, y se hace de fábrica refractaria (1).

(1) Los nombres que se dan á las paredes de las fraguas catalanas son diferentes en las diversas localidades. Los que se han indicado son los más

Carga del horno.—Comprendida la disposición general del horno, se explicará cómo se procede á su carga. Se empieza echando en el crisol varios carbones encendidos, llenándolo por completo de combustible hasta el orificio de la tobera; en seguida sostiene el operario una pala en posición vertical y paralela á la pared de la forja, dividiendo el crisol en dos compartimientos, de suerte que el comprendido entre la forja y la pala sea doble del otro: en este momento varios operarios echan carbón en el espacio grande, y mineral, reducido á fragmentos del tamaño de nueces, en el pequeño, levantando al mismo tiempo con cuidado la pala; así se consigue formar dos muretes, uno de combustible junto á la tobera, y otro de mineral que se eleva $0^m,20$ sobre el contraviento, y que se hace terminar en una superficie curva *dfg;* la parte *fg* se cubre de *brasca* ó *carbonilla*, esto es, de una mezcla de arcilla y de polvo de carbón humedecido.

Dispuesto el horno, se da viento á la tobera, y á medida que se consume el carbón y se reduce el mineral, se van echando capas sucesivas de aquel y de éste en pequeños trozos, cuidando de humedecer ligeramente el mineral para evitar que pase á través de los intersticios del combustible.

Marcha de la operación.—Bajo la acción del aire lanzado por la tobera, el carbón que está inmediato á ésta arde, transformándose en anhidrido carbónico, el cual, al atravesar la masa de combustible á una temperatura bastante grande, se apodera de cierta cantidad de carbono, convirtiéndose en óxido de carbono: éste á su vez, al encontrar el mineral á una elevada temperatura, se apodera de su oxígeno, reduciéndolo á hierro metálico y regenerándose el anhidrido carbónico; el metal va cayendo en fragmentos esponjosos al fondo del crisol; pero no todo el mineral se reduce, sino que una parte, combinándose con elementos de la ganga, forma silicatos múltiples muy fusibles, que caen y se acumulan en el fondo del crisol hasta que se les da salida por la piquera practicada en la parte inferior del escoriadero.

corrientes en España; sin embargo, las denominaciones admitidas en Vizcaya son muy distintas, y pueden verse en la obra de *Metalurgia especial* del malogrado D. Luis Barinaga, Ingeniero Jefe de Minas.

Al cabo de unas dos horas se habrá acumulado en el crisol cierta cantidad de metal, y entonces el operario, introduciendo con precaución un espetón entre el contraviento y el mineral, reune los diversos fragmentos de metal, aproximándolos algún tanto á la tobera, á fin de desalojar el carbón que haya podido combinarse con ellos, operación que sustituye al *afino* que se hace experimentar al hierro colado para convertirlo en dulce: durante este período se echan con más frecuencia capas de mineral y combustible. Á las cinco horas de trabajo, casi todo el mineral ha bajado al fondo del crisol, la reacción ha terminado ya y el operario reune con el espetón los trozos de metal, formando con todos una masa que recibe los nombres de *zamarra, bola* ó *pelota,* que pasa después á las máquinas que han de purgarla de las materias extrañas que contenga y darle la textura conveniente.

Casos en que conviene aplicar este método.—El procedimiento de las fraguas catalanas se emplea en países montañosos, en que sería muy caro establecer las grandes construcciones que requieren los hornos altos; en que la escasez de los medios de comunicación dificultaría la salida de las considerables cantidades de metal que aquellos producen, y en las que suele abundar el combustible vegetal, que es el que de ordinario se emplea en este método. Exige además, para que se aplique en buenas condiciones, que el mineral beneficiado sea muy rico, por perderse bastante metal en las escorias. Las forjas catalanas están muy extendidas en los Pirineos y en Córcega. En España se encuentran principalmente en Vizcaya.

Gasto de combustible.—La cantidad de combustible que se gasta es, por término medio, de unos 2 metros cúbicos por 160 kilogramos de metal obtenido; á primera vista parece muy considerable, y, sin embargo, es menor que la que se consume en el tratamiento por los hornos altos, porque en el método catalán se prepara desde luego el hierro dulce, siendo inútiles las operaciones, de que no se puede prescindir en el otro para transformar el hierro fundido.

Acero natural.—Antes de terminar lo relativo á las forjas catalanas, debe advertirse que, tomando ciertas precauciones, y contando con operarios prácticos é inteligentes, se pueden obtener en ellas verdaderos *aceros,* esto es, hierros en cierto grado de carburación.

PROCEDIMIENTO DE LOS HORNOS ALTOS.

En los *hornos altos,* ó por el procedimiento llamado también *indirecto,* se reduce el mineral, obteniendo el hierro mezclado ó combinado con una pequeña proporción de carbono, en estado de hierro fundido, que se transforma después en dulce, como más adelante se verá.

Descripción de un horno alto.—Se compone de dos troncos de cono *C* y *B* (fig. 187), éste mucho más bajo que aquel, reunidos por su base. El *C,* que recibe el nombre de *cuba,* está revestido interiormente con una camisa de ladrillos refractarios, *ii,* de primera calidad; una ligera capa de escorias molidas separa la camisa de una segunda envolvente de ladrillos, *ll,* que se aplica directamente á la *obra muerta, pq, p'q',* ó macizo exterior de fábrica de sillería, de mampostería ó de ladrillo ordinario. La parte superior, *G,* de la cuba es el *tragante* ó *cargadero;* á veces se prolonga en forma cilíndrica, *F,* constituyendo una chimenea, en la que hay practicadas una ó más puertas para la carga.

El cono inferior, *B,* ó sean los *etalajes,* está formado por piedras muy refractarias, á fin de que puedan resistir la elevada temperatura á que han de estar expuestas durante el trabajo: la unión de los etalajes con la cuba, que se denomina *vientre* del horno, se verifica á menudo por una pequeña superficie de revolución, para evitar el ángulo que de otro modo resulta en la meridiana.

Debajo de los etalajes hay una superficie cilíndrica ó prismática, *E,* llamada *obra* ó *laboratorio;* su parte inferior, *D,* es el crisol, en que se acumulan las escorias y el metal fundido, y cuya sección era antes, por lo general, rectangular y hoy circular. La pared anterior de la obra, *t,* está interrumpida á algunos decímetros del fondo, sosteniéndose por fuertes vigas de hierro empotradas en la fábrica del horno, y termina en una plancha de palastro, que se conoce con los nombres de *timpe* ó *temple.*

El fondo del crisol no es más que una losa de piedra muy refractaria, bajo la cual hay practicadas varias aberturas que permiten la libre circulación del aire, por la parte inferior del horno; y para que no se acumule el agua en dicho sitio y evitar que se enfríe el crisol,

ocasionando graves entorpecimientos, todo el horno está establecido sobre sólidas galerías abovedadas, *II*.

Tres de las paredes del crisol son prolongación de las correspondientes de la obra; la cuarta está formada por una piedra prismática, *d*, llamada *dama* (de la palabra holandesa *damm* que significa *dique)*, que está algo más saliente que el timpe. Hay en ella un canillero ú orificio de sangría, por el que pasa el metal fundido á las canales en que se enfría, y que permanece cerrado mientras dura la operación.

La pared posterior y las laterales tienen practicadas aberturas, *O, O,* que reciben los extremos de las toberas destinadas á activar la combustión. La disposición de éstas y de los tubos que comunican con la máquina sopladora, es la representada en la figura 188, que es un corte del horno á la altura de las toberas: *D*, es el crisol; *o, o, o*, las aberturas de las paredes, que no deben estar á la misma altura, á fin de evitar el choque de las corrientes de aire lanzadas por cada una de las toberas, *t, t, t; x, x, x*, los tubos de comunicación de aquellas con los depósitos de aire; *A, A, A, A*, espacios abovedados que permiten llegar á las toberas y al crisol, tanto para observar su marcha, como para hacer las reparaciones necesarias; y *R, R, R, R*, galerías que facilitan la circulación alrededor del horno y el paso á los espacios *A*.

Las toberas constan (fig. 189) del tubo cónico *B*, rodeado de una doble envolvente tronco-cónica de cobre ó de hierro colado, *abdc,* dentro de la cual circula una corriente continua de agua, que entrando por *t* y saliendo por *t'*, impide la fusión de las extremidades, efecto que se produciría de no adoptarse esta precaución, dada la alta temperatura á que han de hallarse expuestas. Lleva además cada tobera un regulador para lanzar al horno la cantidad de aire necesaria en los diversos casos.

Debe procurarse establecer el horno alto, junto á una ladera, que se consolida con muros de fábrica (fig. 187); á la altura del cargadero, se dispone una explanada, *U*, que se enlaza á la plataforma *pp'*, por medio de un viaducto, *aa'*. Á la explanada se llega por un plano inclinado, al que se suben con cables de alambre, ó por cualquier otro método, las cargas de combustible y mineral, que se llevan después por vías y vagones hasta el tragante ó hasta las puertas de la chimenea. Cuando no hay ladera al costado del horno alto, se construye un plano inclinado desde el suelo de la ferrería hasta la plataforma superior.

La altura que, por lo general, suelen alcanzar los hornos altos es de 10 metros cuando se emplea carbón vegetal, y de 15 cuando se usa hornaguera ó cok. En España, la altura varía de $10^{m},50$ á 18 metros.

Por fin, conviene saber que en estos últimos tiempos se han construído en Inglaterra hornos parecidos á los que se acaban de describir, pero sin obra y revestidos exteriormente de palastro. Ordinariamente, hay varios hornos, unos al lado de otros, alimentados todos con el aire de una sola máquina de inyección.

Carga del horno.—Se explicará ahora cómo se procede á la carga de un horno alto, suponiendo que esté recién construído ó reparado. Lo primero que deberá procurarse en semejante caso es la desecación de la fábrica, que se verifica por medio de un fuego de ramaje que se enciende antes de colocar la dama: para facilitar la operación se dejan en los muros del horno multitud de pequeñas canales, que, comunicando con el exterior, permiten la salida del vapor de agua que se desprende del macizo.

Terminada la desecación y colocada la dama, se echa el combustible por la parte superior hasta llenar completamente la cuba; se da aire con las toberas, y cuando la combustión es activa, se van colocando capas alternas de mineral y de combustible y *fundente*, cuyo grueso varía según la naturaleza de aquellos.

Tanto en las reacciones que se verifican en el horno, como en la calidad de sus productos, ejercen marcada influencia, que es preciso estudiar, los combustibles y los fundentes.

Fundentes.—Reciben el nombre de *fundentes*, diversos cuerpos cuya mezcla con el mineral facilita su reducción: de esta definición se deduce evidentemente que han de ser de naturaleza tal, que puedan formar con la ganga del mineral combinaciones bastante fusibles, y que mejoren, si es posible, la calidad del metal.

El fundente más á propósito para la reducción de los diversos minerales de hierro, susceptibles de beneficiarse, varía con la naturaleza de la ganga, que es, por lo general, silícea, arcillosa ó caliza. En el primer caso, la sílice de la ganga sólo podría separarse del mineral en estado de silicato fusible, y como la única base con que pudie-

ra combinarse es el óxido de hierro, se perdería gran cantidad de metal, que pasaría á las escorias, como se ha tenido ya ocasión de observar al hablar de las forjas catalanas. Igual pérdida se experimentaría en el caso de ser arcillosa la ganga, puesto que ésta sólo se fundiría combinándose con otra base, que sería el mismo óxido de hierro, y formando silicatos múltiples de aluminio, hierro y quizá otros metales. Estos inconvenientes desaparecerán desde el momento en que se ponga en contacto con el mineral una base capaz de sustituir al hierro en los silicatos fusibles: esta base, cuya adquisición ha de ser económica, es la cal, que se mezcla con el mineral, en estado de carbonato, que tanto abunda en la naturaleza, y al cual se da en metalurgia el nombre de *castina*. La observación ha demostrado que el silicato doble de aluminio y de calcio es más fusible que los en que entra como base el hierro, y que de los diversos silicatos dobles de dichos metales, lo es en más alto grado aquel en que el oxígeno del ácido está con el de las dos bases reunidas en la relación de 3 á 2. La relación entre las dos bases no es indiferente: se obtiene la combinación más fusible, añadiendo á la arcilla natural, cuya composición varía poco, un peso de carbonato cálcico que esté con el de aquella, en la misma relación de 3 á 2. Con estos datos se tienen los elementos necesarios para deducir en cada caso la cantidad y calidad de los fundentes que habrá que agregar. En la práctica se procura mezclar minerales de diversas gangas, con cuya composición se satisfagan aproximadamente las prescripciones indicadas. Si sólo se dispone de minerales de ganga silícea, deberá añadirse caliza y arcilla; si son de ganga arcillosa, bastará mezclarlos con carbonato cálcico, y si, por último, son calizos los minerales que se explotan, no habrá necesidad de agregar ningún fundente, por separarse fácilmente la ganga en estado de cal cáustica, á la temperatura del horno.

Combustibles.—Los combustibles que se emplean más comunmente en los hornos altos son el carbón vegetal y el cok. El primero reune las condiciones de ser muy pequeña la cantidad de cenizas que deja, las cuales, á más de no contener ninguna substancia que pueda alterar la buena calidad del hierro colado, son muy ricas en álcalis (potasa y sosa), que al combinarse con la sílice de la ganga, forman silicatos muy fusibles; de aquí proviene el ser los hierros obtenidos con este combustible de superior calidad, reservándose para la fabricación de hierros y aceros superiores. En compensación de las ventajas enumeradas, el carbón vegetal ofrece el inconveniente del excesivo precio á que resultan los productos, á causa de la gran cantidad de combustible que se consume y de la escasez relativa de éste, por lo cual sólo se emplea de ordinario en países como Suecia, cuya riqueza forestal es de todos conocida, y cuyos hierros gozan por esta razón de una reputación universal, justamente merecida. También en España se usa á veces el carbón vegetal en los hornos altos; como ejemplos bastará citar la ferrería de los Sres. Goitia y Compañía, en Beasain (Guipúzcoa), y la del Pedroso, en la provincia de Sevilla.

Por los motivos expuestos, se usa por lo general el cok, que se obtiene, como es sabido, por la destilación de la hulla ú hornaguera; pero este combustible tan abundante y relativamente barato, presenta la desventaja de dejar gran cantidad de cenizas, que contienen á veces piritas en proporción bastante grande, cuyo azufre al disolverse en el hierro colado le comunica muy malas cualidades; esta circunstancia, que sería mucho más perjudicial si se empleara directamente la hulla, se suele remediar forzando la proporción de carbonato cálcico ó castina, que se mezcla con el mineral en calidad de fundente, evitándose así la disolución del azufre en el metal, por combinarse aquel con la cal para formar sulfuro de calcio, que pasa á las escorias: mas siguiendo este método, resultan éstas menos fusibles, debiéndose, por tanto, elevar más la temperatura para darles la fluidez necesaria, lo cual se traduce en un aumento considerable en los gastos de explotación.

Teoría de los hornos altos.—Comprendidas ya la disposición y la manera de cargar el horno alto, y conocidos la naturaleza y efectos de fundentes y carbones, se puede pasar á estudiar los variados fenómenos físicos y reacciones químicas que se verifican en este vasto aparato.

Recuérdese ante todo, que al atravesar una corriente de anhidrido carbónico una masa de carbones encendidos, se combina con una nueva cantidad de carbono, formándose un volumen doble de óxido de carbono, reacción que se expresa con la siguiente fórmula:

$$CO^2 + C = 2CO;$$

y que el óxido de carbono, en virtud de su gran afinidad con el oxí-

geno, á una elevada temperatura, es un gas eminentemente reductor, que al encontrarse en contacto con óxido de hierro, se apodera de su oxígeno, dejando libre al metal y formándose otra vez anhidrido carbónico, reacción que se puede escribir así:

$$Fe^3O^4 + 4CO = 4\ CO^2 + 3Fe.$$

Con estos precedentes se entrará de lleno en el examen de los fenómenos que se producen. Si se observa con atención la marcha de un horno alto, se advertirá que existen dos corrientes que lo atraviesan en sentido contrario, cuyo mutuo encuentro determina los efectos que dan por resultado la obtención del hierro fundido: estos efectos son, en el orden en que se suceden, *desecación, reducción, carburación* y *fusión*.

Se seguirá paso á paso la marcha de cada una de dichas corrientes para comprender mejor sus transformaciones: una es la de los gases que, entrando por las toberas, salen por el cargadero del horno, y otra la de las materias sólidas (mineral, combustible y fundente), que entran por la boca y van á parar al crisol.

El aire lanzado por las toberas encuentra una masa de carbón á elevada temperatura, la combustión es vivísima á causa del exceso de oxígeno; el carbono al combinarse con él forma anhidrido carbónico, desprendiéndose todo el calor susceptible de desarrollarse en esta reacción. La conversión del aire en anhidrido carbónico y nitrógeno se verifica en la obra, y algunas veces en la parte inferior de los etalajes, aunque con mucha menos intensidad. El anhidrido carbónico, producto de esta combustión, halla en los etalajes y parte inferior de la cuba, una gran masa de carbón al calor rojo; se combina con una nueva cantidad de carbono y se produce, como se ha dicho, un volumen doble de óxido de carbono: esta combustión inversa, por decirlo así, y el aumento de volumen del gas absorben mucho calórico, verificándose un descenso de temperatura en esta parte del horno, notablemente mayor que el que se efectuaría si la pérdida de calor fuera debida únicamente al equilibrio de temperatura entre los gases y las materias á través de las que circulan aquellos. El óxido de carbono así formado, encuentra á su vez en la cuba una masa considerable de mineral, es decir, de óxido de hierro, cuya temperatura es bastante elevada, y se apodera de su oxígeno, regenerándose el anhidrido carbónico: de suerte que los gases que se escapan por la boca del horno estarán compuestos de una gran cantidad de nitrógeno y anhidrido carbónico, y además de óxido de carbono, cuya transformación en anhidrido no habrá podido realizarse; también saldrá una pequeña proporción de hidrógeno, resultante de la descomposición, que, á causa de la elevadísima temperatura de la obra, habrá sufrido en ella el vapor de agua contenido en el aire lanzado por las toberas. Estos gases son, pues, eminentemente combustibles, en virtud del hidrógeno y óxido de carbono de que se componen en parte, y á su inflamación, en contacto del aire, se debe la llama azulada que se observa algunas veces en la boca del horno, mientras dura la operación.

Los materiales que, introducidos por el tragante, van descendiendo de un modo regular, hasta el vientre, encuentran en la parte superior de la cuba los gases, aún bastante calientes, de que se ha hablado, y la temperatura se eleva á medida que descienden por la cuba, verificándose así la desecación y deshidratación del mineral: al llegar á la parte inferior de la cuba y superior de los etalajes, se ponen en contacto con el óxido de carbono, el cual reduce al mineral, quedando las partículas de metal mezcladas con la ganga: al mismo tiempo se efectúa la descomposición del carbonato cálcico, formándose cal cáustica, y desprendiéndose el anhidrido carbónico, á la vez que se descompone el carbonato de hierro en óxido de hierro y anhidrido carbónico, si se beneficia esta clase de mena. Al llegar las materias dispuestas de esta suerte á la parte media é inferior de los etalajes, cuya temperatura es la del calor blanco, la cal se combina con la ganga, produciéndose silicatos múltiples, que se funden un poco más abajo y van á caer al crisol, constituyendo las escorias: el hierro se encuentra, pues, libre, pero no se funde, por ser todavía baja la temperatura á que está expuesto; pero como se halla en una atmósfera poco oxidante, y en presencia del carbono á una temperatura elevada, se combina con éste, pasando al estado de hierro colado: una corta cantidad de sílice se reduce también si la temperatura es muy alta, combinándose con el hierro el silicio que queda libre. El hierro colado y las escorias pasan á la obra, donde el calor es elevadísimo: las escorias y el metal adquieren una fluidez completa y caen gota á gota en el crisol, separándose ambas materias por orden de densidades.

Debe observarse que, siendo en extremo oxidante la atmósfera que hay en la parte inferior de la obra, es preciso que la atraviesen las materias con bastante rapidez, á fin de impedir la oxidación de una gran cantidad de metal: por esta causa se le da una sección transversal muy pequeña.

Las escorias van acumulándose en el crisol hasta que llegan al nivel superior de la dama, dirigiéndose entonces por el plano inclinado *df* (fig. 187) á unos depósitos de que se extraen después de enfriadas. El aspecto de las escorias manifiesta si el horno funciona bien, pues cuando esto se verifica aquellas son claras, transparentes y fluidas; si presentan color azulado, amarillento, verdoso, ó más ó menos obscuro, es señal de que el mineral no se ha reducido por completo, y que hace falta aumentar la proporción de combustible. Sirven también para conocer la marcha de la operación, el aspecto de la llama, la manera de actuar las toberas y el descenso de las cargas; con la observación de estas circunstancias y con la práctica del trabajo, se viene en conocimiento de las variaciones que deben introducirse en las proporciones respectivas de combustible y fundentes y de aire lanzado por las toberas.

Al cabo de doce ó veinticuatro horas, según la capacidad del crisol, se llena éste de hierro fundido, que se deja siempre cubierto de una delgada capa de escorias, á fin de preservarlo de la acción oxidante del aire de las toberas: se sangra entonces el horno, abriendo el canillero, y sale el metal, dirigiéndose por una reguera que parte de dicho agujero; de ésta arrancan otras regueras perpendiculares, que comunican con una serie de depresiones, del tamaño que hayan de tener los lingotes, paralelas á la reguera principal. Terminada la sangría, se echa arena sobre los lingotes, con objeto de hacer menos molesto para los operarios el calor que radian aquellos.

Perfeccionamientos en los hornos altos.—Varios perfeccionamientos se han introducido en el trabajo de los hornos altos, siendo los principales y únicos de que se hablará, el empleo de aire caliente en vez del inyectado á la temperatura ordinaria, y el aprovechamiento de los gases combustibles que se escapan del tragante del horno.

Empleo de aire caliente.—Este perfeccionamiento encontró mucha oposición entre los fabricantes y operarios de Inglaterra, al proponerlo Neilson en 1831, apoyándose aquellos en que la experiencia había demostrado que los hornos altos funcionaban mejor en invierno que en verano, lo cual, si á primera vista parece un argumento de fuerza contra el empleo de aire caliente, no lo es si se considera que se ha explicado esta aparente anomalía por contener la atmósfera menos vapor de agua, cuando la temperatura es baja. La innovación produjo desde luego excelentes resultados, y hoy día se ha sustituído en casi todas las fábricas el aire frío por aire á una temperatura de 320 á 450° centígrados, habiéndose llegado últimamente en algunas ferrerías inglesas á elevarla hasta 600°. Así se logra una economía de combustible, que se hace subir en ciertos casos á 35 por 100; obteniéndose además mayor producción, mejor calidad en los hierros y más regularidad en la marcha de los hornos.

El aire se caldea obligándole á pasar por un sistema de tubos calentados exteriormente, ya por combustible aplicado de una manera directa, ya aprovechando los gases desprendidos del horno, que es el caso más general, y en el que es realmente notable la economía que se ha indicado. Los hornos de calefacción, que se llaman *estufas*, deben situarse lo más cerca posible de las toberas, para evitar, no sólo el enfriamiento consiguiente, sino también la diminución grande en la presión que experimentaría el fluido al circular por tubos muy largos. Para conseguir el mayor aprovechamiento de calor, ha de procurarse dar poco espesor á los tubos, aumentar en lo posible la superficie de caldeo y disponer los hornos de manera que el aire de los tubos marche en sentido contrario que los gases de la combustión. Con objeto de no disminuir demasiado la presión del aire, es conveniente hacer pasar á éste por una serie de tubos de sección pequeña, con lo cual es grande la superficie de caldeo y corto relativamente el trayecto recorrido.

La primera estufa ideada por Neilson era por demás sencilla: consistía en una retorta cilíndrica de palastro, colocada en un hogar ordinario, disponiéndose una para cada tobera; así no se lograba calentar bastante el aire, y los resultados no fueron satisfactorios.

Posteriormente sustituyó el mismo inventor este aparato por otro, en que la temperatura podía elevarse de 160 á 220° centígrados. Componíase (fig. 190) de unos tubos de hierro fundido, *BS*, perfectamente empalmados, dentro de los cuales había una serie de diafrag-

mas, *P*, para que el aire circulara con la menor velocidad posible y tuviera tiempo para calentarse. Todo ello estaba dispuesto en el horno, *OO*, dividido en los dos compartimientos, *a*, *a'*, en uno de los cuales se situaba el hogar.

Otra estufa muy empleada y que ha dado excelentes resultados, es la llamada de *Calder*, por haberse aplicado por primera vez, en la fábrica de este nombre: consta de dos tubos horizontales de hierro fundido, por uno de los que entra el aire frío, saliendo por el otro el caliente; ambos comunican entre sí por varios tubos de palastro encorvados en forma de *U*, como fácilmente se ve en las figuras 191, 192 y 193, que representan, la primera un corte horizontal á la altura del arranque de los tubos de *U*, y las otras dos, secciones transversal y longitudinal, respectivamente, de uno de estos aparatos.

Aprovechamiento de gases.—Los gases que se escapan por el tragante del horno contienen en su masa algunos elementos combustibles no quemados todavía (de 20 á 28 por 100 de óxido de carbono y de 2 á 6 de hidrógeno), y están á una temperatura sumamente elevada, que puede utilizarse. Se han ideado varias disposiciones para su aprovechamiento, destinando unas veces esos gases á calentar la máquina de vapor de los ventiladores, otras á la torrefacción de los minerales, y más generalmente á caldear el aire de las toberas, obteniéndose así una verdadera economía de combustible.

Uno de los medios más sencillos que se ocurren á primera vista, es situar la estufa de caldeo del aire encima del horno; pero esta colocación presenta tantos y tan graves inconvenientes, que ha habido que recurrir á otros sistemas, como el de dar salida á los gases por la parte superior del horno, llevándolos, por conductos á propósito, á las estufas, debiéndose hacer la toma á una altura tal, que se hayan verificado por completo todas las reacciones en que han de intervenir los gases, y suficientemente baja para que no lleguen á enfriarse ni á inflamarse en contacto del aire.

Dos disposiciones son las empleadas con mayor frecuencia: la primera, ó *de tragante abierto* (fig. 194), consiste en una serie de aberturas largas y estrechas, *A*, practicadas á la altura conveniente, que comunican con el espacio anular, *B*, de que arranca el tubo, *C*, de toma de los gases.

La segunda, ó *de tragante cerrado*, es la indicada en la figura 195, en la que el tubo, *C*, parte del mismo horno, permaneciendo cerrada la boca de éste por una especie de embudo, *A*, cuyo fondo está formado por una trampa cónica, *B*, suspendida de una cadena que pasa por la polea *P*, y lleva en su extremo un contrapeso. Con esta ingeniosa disposición, al verter la carga por el embudo, como el peso de aquella es mayor que el del contrapeso, baja la trampa, caen los materiales en el horno, y se cierra casi inmediatamente la abertura por la acción del contrapeso, siendo insignificante la cantidad de gas que se escapa durante la carga, y verificándose ésta con la mayor sencillez. El aparato descrito se conoce en casi todos los idiomas con la denominación inglesa de *cup and cone* (tolva y cono).

Productos de los hornos altos.—El metal que se obtiene en los hornos altos es el hierro *crudo, colado* ó *de primera fusión*. El hierro colado contiene, además de silicio, nitrógeno, fósforo, azufre, arsénico, manganeso y otros cuerpos, una cantidad de carbono relativamente considerable, pues varía de 2 á 4,5 por 100, en parte disuelto ó combinado con el hierro, y en parte diseminado en la masa, en estado de *grafito*. Las cantidades de una y otra especie de carbono dependen en alto grado del modo como se haya verificado el enfriamiento: cuando el metal está líquido, todo el carbono se encuentra combinado ó disuelto; pero cuando se solidifica, se separa una parte, en forma de grafito, en proporción tanto más considerable, cuanto más lento es el enfriamiento. En el hierro colado *gris*, que es el que se enfría lentamente, casi todo el carbono se halla en estado de grafito; en los hierros *manchados, mezclados* ó *atruchados*, está en parte combinado ó disuelto y en parte mezclado, y en los *blancos*, ó enfriados con rapidez, casi todo el carbono está combinado con el hierro ó disuelto en la masa metálica. Aunque por lo dicho parezca que la sola causa que influye en la calidad de los hierros colados, es la mayor ó menor lentitud de su enfriamiento, hay otras varias que tienen marcada importancia; no se entrará en su examen, tanto por no permitirlo el programa de esta obra, como porque la cuestión no está aún bien estudiada. Bastará decir que la naturaleza química y las propiedades físicas de los hierros fundidos varían, no sólo con la naturaleza de las primeras materias empleadas en su fabricación (menas, combustibles y fundentes), sino también con los métodos seguidos para obtenerlos; así es que no tienen la misma com-

posición los que se funden con carbón vegetal que aquellos para cuya obtención se usa cok, ni los preparados con aire frío ó con aire caliente.

El hierro colado se funde á temperaturas comprendidas entre 1.000 y 1.200°; tiene mucha menos ductilidad que el forjado ó dulce. Los hierros grises son granudos y porosos; se cortan, liman y taladran con bastante facilidad: los blancos suelen presentar textura radiada ó cristalina; son agrios y algo más fusibles que los grises.

Los hierros colados grises y manchados, se clasifican en las fábricas con números, asignando el 1.° á los más obscuros y grafitosos, y los sucesivos hasta el 6, y á veces hasta el 7, á los hierros que van siendo más claros, y encierran, por consiguiente, menor cantidad de grafito. Los hierros fundidos blancos se distinguen, de ordinario, con las denominaciones de *fibrosos*, *granudos*, *cavernosos* y *especulares*, que corresponden al aspecto que presentan sus fracturas.

Hierros colados maleables.—Á los hierros colados se les puede dar una maleabilidad parecida á la que tienen los hierros dulces, descarburándolos en parte. Si una pieza de hierro fundido, de poco espesor, se calienta en medio de una masa de anhidrido férrico en polvo, el carbono que se halla en la superficie de aquella, se oxida y se desprende en estado de óxido ó anhidrido carbónico. La parte externa de la pieza se descarbura, por tanto; pero el carbono disuelto en el interior vuelve á carburarla, se quema á su vez, y continuando así se logra suficiente descarburación para que el hierro adquiera maleabilidad. Sin embargo, para obtener buen resultado es indispensable que la pieza tenga muy poco grueso, á fin de que no quede demasiado carburado el interior, y que no encierre dosis considerables de silicio, fósforo, metales ni otros elementos, que no se pueden separar por el método indicado, para el que tienen aplicación excelente los hornos anulares de Hoffmann.

El carbono que se elimina es el que está combinado ó disuelto; el grafito permanece intacto, y como éste, al calor blanco, se disuelve en el hierro, se comprende que el producto, que se trabaja sin dificultad á temperaturas bajas, salte en pedazos al choque del martillo, á las muy elevadas. Los hierros colados maleables son menos densos y resistentes que los hierros dulces.

TRANSFORMACIÓN DEL HIERRO FUNDIDO
EN DULCE Ó MALEABLE.

Se acaba de ver que los productos de los hornos altos son hierros combinados ó mezclados, en proporciones mayores ó menores, con carbono, manganeso, silicio, azufre, fósforo y otros diversos cuerpos, que influyen más ó menos en su calidad. Separar todas estas substancias, ya en estado gaseoso, ya en estado líquido ó de escorias, es el objeto de lo que sigue.

Teoría química de la transformación.—Si se somete el hierro colado pastoso ó semilíquido á una acción oxidante enérgica, dirigiendo á su superficie una fuerte corriente de aire, los diversos cuerpos que encierra la masa tenderán á combinarse con el oxígeno, y lo verificarían por el orden de sus afinidades, si estuviesen en proporciones próximamente iguales; pero por la acción conocida de las masas, el hierro es el primero que se oxida. Sin embargo, esta oxidación no es más que momentánea, porque el silicio y el manganeso reducen en seguida el óxido formado, no sólo porque tienen más afinidad con el oxígeno que el hierro, sino porque aquella se exalta, en virtud de la tendencia á producirse silicatos fusibles de hierro y de manganeso, que se separan con las escorias. El carbono se oxida también, desprendiéndose en estado de óxido ó de anhidrido carbónico, y el fósforo se transforma en anhidrido fosfórico, que á su vez da lugar á fosfatos de hierro fusibles. En cuanto al azufre, desaparece una parte en estado de anhidrido sulfuroso; otra pasa á las escorias formando oxisulfuros de hierro, y otra queda combinada con el metal. Todas estas reacciones se activan removiendo la masa con espetones.

Una condición esencial para que la operación tenga éxito satisfactorio, es que no predomine la sílice en la plaza y paredes interiores del horno, pues de lo contrario se forman silicatos de hierro abundantes, que pasan á las escorias, perdiéndose cantidades considerables de metal. Otro inconveniente del exceso de sílice consiste en que dificulta la eliminación del fósforo, porque aun cuando en un principio se formen fosfatos fusibles, se transforman pronto en silicatos, á

causa de la gran fijeza de la sílice, y el ácido fosfórico vuelve á reducirse con la intervención del metal ó del óxido de carbono.

La acción oxidante del aire se refuerza á veces, añadiendo escorias de operaciones precedentes y limaduras de hierro, materias ambas muy ricas en óxido de este metal y que, por tanto, suministran gran parte del oxígeno necesario, disminuyendo á la vez las mermas en el hierro que se trabaja. Obsérvese además que la sílice de las escorias no proviene en su totalidad del silicio del hierro, sino también de los granos de arena adheridos á las barras de metal, de las cenizas del combustible y de las escorias que se agregan.

Esta teoría tan clara tropieza con grandes dificultades al ponerla en práctica, lo cual se comprenderá si se advierte que es absolutamente imposible conocer el momento preciso de haberse separado todos los cuerpos extraños, para interrumpir entonces la entrada del aire, perdiéndose, por consiguiente, gran cantidad de hierro, cuya oxidación no se podrá evitar si aquella acción se prolonga demasiado. Por otra parte, la separación de algunas substancias, tales como el azufre y el fósforo, es en extremo difícil, y, sin embargo, es indispensable eliminar ambos cuerpos, y en particular el azufre, por lo notablemente que alteran la calidad de los productos.

Tantos gastos y tantos inconvenientes prácticos ocasiona la separación del azufre, que se procura no entre en el hierro fundido, ya calcinando previamente los minerales, si de éstos proviene, ya forzando, como se dijo en lugar oportuno, la proporción de castina, si el combustible es el que lo suministra. En general, puede decirse que el hierro colado que contenga una proporción algo crecida de azufre, no dará más que hierros agrios y de mala calidad.

Procedimientos empleados para la transformación.—Varios son los procedimientos empleados para este objeto, idénticos en el fondo, y que sólo se distinguen por la forma especial de los hornos y la manera de dirigir las operaciones, dependiendo, como es natural, que se prefiera uno ú otro, de la calidad del hierro que haya que descarburar: todos ellos se pueden encerrar en los tres grupos siguientes:

Primer grupo. Cuando el hierro colado sea muy puro, como los obtenidos de buenas menas y con carbón vegetal, bastará fundirlo y someterlo á la acción oxidante, en hornos especiales análogos á las

forjas catalanas, de los que saldrá el metal completamente libre de carbono, silicio y demás substancias con que estaba mezclado, recibiendo esta operación el nombre de *afino en forjas* ó simplemente *afino* ó *afinación*.

Segundo grupo. Si el hierro fundido es algo impuro, no bastaría el procedimiento anterior para transformarlo en hierro dulce, siendo necesario, á más de afinarlo en hornos parecidos á los precedentes, acabar de purificarlo fundiéndolo en hornos reverberos, operación á que se ha dado el nombre de *afino en reverberos*, *pudelaje* ó *pudelación* (1), del inglés *to puddle* (remover).

Tercer grupo. Empleando métodos especiales para la pudelación, se pueden descarburar los hierros colados, suprimiendo la afinación previa que es indispensable con el pudelaje ordinario.

AFINACIÓN EN FORJAS.

Descripción del horno.—El horno empleado para este objeto consta (fig. 196) de un pequeño hogar, *U*, en forma de pirámide cuadrangular truncada, cuyas paredes están revestidas de placas de hierro cubiertas de arcilla. La profundidad del hogar es de unos $0^m,25$, y su ancho de $0^m,60$ á $0^m,70$. La tobera, *t*, análoga á las descritas al tratar de los hornos altos, está dispuesta de suerte que su eje corte á la arista inferior de la cara opuesta: delante del hogar hay una placa de hierro fundido, *aba'b'*, ligeramente inclinada, y de la parte superior del crisol arranca la piquera para dar salida á las escorias, la cual termina en la parte inferior del mismo.

Todo el horno está cubierto con una campana de chimenea, *C*, por la que se desprenden los productos de la combustión; á la campana se unen placas de palastro, *P*, para resguardar á los operarios, á manera de pantallas, de la radiación calorífica durante el trabajo.

Marcha de la operación.—Para efectuar la operación, se llena el hogar *U* de carbones encendidos, se da aire para activar la combustión y se colocan encima los lingotes de hierro colado: mer-

(1) Para no hacer uso de una circunlocución, parece oportuno formar el verbo *pudelar*, del inglés *to puddle*. Si se admite el verbo, lo natural es llamar *pudelación* á la acción y efecto de pudelar, aunque también puede aceptarse el nombre de *pudelaje*, que se usa comúnmente.

ced á la elevada temperatura que se obtiene, se funde el metal y cae gota á gota en el fondo del hogar; al atravesar la corriente de aire de las toberas, se oxida su superficie, el óxido así formado obra sobre el carbono y el silicio, desprendiéndose aquel en estado de óxido de carbono ó de anhidrido carbónico, y combinándose éste con el óxido de hierro para producir silicatos, que constituyen las escorias. Al llegar al fondo del crisol, ha perdido el metal casi todo su carbono y gran parte del silicio y demás substancias que contenía, que se habrán desprendido, como ya se ha dicho, en estado de combinaciones gaseosas ó líquidas, haciéndose á la vez el metal mucho menos fluido. Se dejan salir de vez en cuando las escorias, y se van echando desperdicios de hierro, muy abundantes en óxidos, que aumentarán la acción descarburante del aire de las toberas. Al cabo de unas tres horas, en que se habrá ya fundido la cantidad de metal que se trata (100 á 150 kilogramos), levanta el operario, provisto de un espetón, la masa de hierro, que presenta bastante consistencia, y la coloca frente á la tobera, con lo cual estará sometido el metal á una acción oxidante muy enérgica: añade combustible, da aire con más fuerza, y con la gran elevación de temperatura que así se produce, adquiere suficiente pastosidad la materia para caer al fondo del crisol, donde toma cuerpo en seguida, pudiéndose ya entonces dar por terminado el afino.

Va reuniendo el operario con su espetón las masas esponjosas de hierro que se hallan esparcidas en el crisol y que se sueldan fácilmente, cuidando, no obstante, de someter á la acción de la tobera los fragmentos cuyo afino le parezca imperfecto, y forma una zamarra que se saca del horno, después de dar salida á las escorias, para llevarla á las máquinas que han de trabajarla.

Combustible.—El combustible que se emplea en el afino es carbón vegetal, pues aunque alguna vez se ha querido sustituir por cok, ha habido que desistir por obtenerse productos de muy mala calidad.

AFINACIÓN EN HORNOS Y PUDELACIÓN.

Ya se ha dicho que, por regla general, cuando se trata de hierros colados que tengan muchas impurezas, hay que someterlos á las operaciones del *afino* y de la *pudelación* ó *pudelaje*.

Afinación.—El afino se verifica de una manera análoga á la que se acaba de indicar. Los hornos empleados son muy parecidos á los descritos, aunque de mucha mayor capacidad, pudiéndose afinar en cada uno de 1.000 á 1.200 kilogramos de metal; el combustible que se usa es el cok.

El producto de este afino se llama por los ingleses *fine-metal*, y no es más que hierro colado, en que el silicio, el fósforo, el manganeso y parte del carbono se han separado ya; podría, por tanto, denominarse *metal semiafinado*.

El fine-metal que sale en estado líquido del horno de afinación, pasa á unas regueras donde se enfría bruscamente, rociándolo con agua; se hace entonces muy agrio y se parte en pequeños fragmentos ó *chapetas*, de 15 á 20 centímetros de lado. Otras veces, á fin de conseguir una división extrema del metal, se le deja caer en estado líquido sobre el suelo desde una altura considerable, ó se emplea el sistema de placas giratorias, que consiste en verter el metal fundido desde cierta altura, menos grande que en el método anterior, sobre una plataforma horizontal, animada de un rápido movimiento de giro alrededor de un eje vertical; al caer el chorro de metal fundido encima de la plataforma, se reduce á gotas que se recogen en un depósito lleno de agua, colocado en la parte inferior del aparato.

Para transformar el metal semiafinado en hierro dulce, es indispensable pudelarlo, á fin de separar la mayor parte de los cuerpos extraños que contiene todavía.

Pudelación.—Esta operación se verifica en reverberos, cuyo carácter principal es, como ya se dijo, el de no estar el metal en contacto con el combustible sólido.

Hornos de pudelar.—Están compuestos de tres partes principales, como todos los reverberos: el hogar, el laboratorio y la chimenea; el combustible empleado es generalmente hulla de llama larga, que se extiende en capas delgadas sobre la parrilla del hogar; el enérgico tiro producido por una chimenea de unos 10 metros de altura, activa fuertemente la combustión y, aspirando la llama, la obliga á extenderse por el laboratorio, cuya bóveda rebajada hace que vaya lamiendo la plaza, donde la temperatura se eleva hasta el calor blanco. En la figura 197 se representa una vista general del horno, y en la 198 un corte vertical y otro horizontal.

De ordinario está constituída la plaza por una placa de hierro colado, cubierta de arena ó escorias de operaciones anteriores, y bajo la cual circula una corriente de aire frío para impedir su fusión; dicha plaza, horizontal en casi toda su extensión, presenta en su extremo posterior, *B* (fig. 198), una depresión, donde se depositan las escorias que se forman durante el trabajo, y á las que se da salida por la piquera, *O*, cuando la operación ha concluído; el laboratorio está separado del hogar por el puente, *P*.

En las paredes del horno, que son generalmente de ladrillos refractarios, con engatillados, están practicadas las cuatro ventanillas, *D*, *E*, *F* y *G*; las *D* y *E*, en el laboratorio, sirviendo la primera para el trabajo, durante el cual permanece abierta, y la segunda solamente para limpiar y cargar el horno, estando, por tanto, cerrada mientras dura la operación; las *F* y *G*, en el hogar, y se utilizan para la carga de combustible. El tiro de la chimenea, *C*, puede regularse por medio de un registro, *R*, que se mueve desde el suelo con una cadena.

Para efectuar la operación se calienta el horno hasta el rojo blanco, y se introduce el metal semiafinado mezclado con una cuarta parte de escorias procedentes de operaciones anteriores y desperdicios de hierro; se cierran herméticamente todas las puertas, tapando bien las rendijas, y se abre por completo el registro de la chimenea; el metal entra pronto en fusión, debiendo cerrarse poco á poco el registro, á medida que esto se consigue. Á causa de la separación del carbono en estado de óxido ó de anhidrido carbónico, la masa metálica va perdiendo su fluidez y se desagrega formando masas esponjosas cubiertas de escorias; entonces el operario, provisto de un hurgón, remueve toda la materia, abriendo con cuidado la puerta de trabajo *D*, á fin de que el aire que por ella entra no oxide demasiado el metal, hasta que por el aspecto de éste reconozca que la transformación se ha efectuado por completo, en cuyo momento va soldando y reuniendo los fragmentos de metal esparcidos por la plaza, formando varias zamarras de $0^m,30$ á $0^m,35$ de diámetro, que deja junto al puente; se hacen salir las escorias, y se llevan las zamarras á las máquinas que han de dar al hierro la compacidad necesaria.

Pudelación perfeccionada.—Se ha indicado ya que, en virtud de ciertas modificaciones y perfeccionamientos introducidos en la pudelación, bastaba ésta para descarburar hierros colados impuros: muchos y muy variados son estos procedimientos, pudiéndose casi asegurar que cada fábrica tiene el suyo peculiar para tratar los hierros que la abastecen, y sería tarea interminable describirlos todos, aun someramente, por lo cual no se hará más que indicar tres de los más usados, á saber: la *pudelación en hornos hervideros*, la *pudelación por vapor* y la *silesiana*.

Hornos hervideros.—Este procedimiento, ideado por Hall á principios de este siglo, sólo se distingue del ordinario en que la temperatura á que se eleva el horno es mucho mayor, por lo cual debe estar construído con materiales más refractarios y su plaza formada por un grueso lecho de escorias para evitar los desperfectos que de otro modo resultarían, por la circunstancia de que en este método el hierro colado se licua por completo, sufriendo una especie de ebullición, durante la cual se separan las escorias, fenómeno que ha dado nombre á los hornos que se emplean.

Pudelación por vapor.—Este sistema consiste en hacer pasar por el horno chorros de vapor de agua, á una presión de 3 á 4 kilogramos, por centímetro cuadrado; el vapor se descompone por la afinidad del oxígeno con el carbono y por la elevada temperatura que reina en el laboratorio, contribuyendo poderosamente á la acción descarburante el oxígeno que esta descomposición pone en libertad, á la vez que el hidrógeno se combina con otros cuerpos extraños, como el azufre, el fósforo, el arsénico, etc.

Pudelación silesiana.—El horno empleado en el procedimiento silesiano es en realidad un generador de gas combustible; éste arde en contacto del aire inyectado por una máquina sopladora, y se introduce en el laboratorio por una abertura; una serie de toberas alimentadas por la misma máquina, producen corrientes que al chocar entre sí determinan remolinos en la masa de metal, que se encuentra expuesta en todos sus puntos á la acción descarburante del oxígeno. La cantidad de aire y de gas inyectados se regula con llaves de compuerta, pudiéndose así aumentar ó disminuir la temperatura, y consiguiéndose, según parece, que la operación marche con la regularidad de una máquina. Este método presenta las ventajas de poder prescindir de la remoción de la masa con espetones, de realizar una economía de un 35 por 100 en combustible, y de librar al metal de todo contacto con las cenizas é impurezas de aquel.

Se terminará cuanto á la pudelación se refiere, indicando que las faenas penosas que exige y la escasez relativa de operarios inteligentes y robustos para efectuarlas, hace que cada dia se extienda más la sustitución de los sistemas antiguos por los modernos, en que se consigue reemplazar con mecanismos los esfuerzos corporales.

TRABAJO DEL HIERRO.

MÁQUINAS EMPLEADAS PARA DAR AL HIERRO LA TEXTURA CONVENIENTE.

Máquinas de cinglar.—Después de sacar el hierro de las forjas de afino ó de los hornos de pudelación, se llevan las zamarras á las máquinas en que han de trabajarse para obtener la textura, compacidad y homogeneidad convenientes, y acabar de desalojar las escorias, lechadas é impurezas que contenga el metal. Conseguidos estos resultados, se puede pasar á dar al hierro la forma en que se ha de expender en el comercio ó que deba tener para los usos á que se destine.

Las máquinas que se emplean para *cinglar,* esto es, para dar al metal la compacidad necesaria, pueden clasificarse, conforme su modo de actuar, en los tres grupos siguientes: 1.°, máquinas que trabajan por compresión, ó sean *prensas;* 2.°, máquinas *laminadoras,* y 3.°, máquinas que trabajan por percusión, ó *martillos* y *martinetes.* Cada una de estas clases de máquinas tiene sus ventajas é inconvenientes. Por lo general, á no ser que se trate de hierros especiales, que exijan con preferencia una máquina determinada, se utiliza el trabajo sucesivo de dos ó tres distintas.

Ventajas é inconvenientes de cada clase de máquinas.—Para cinglar el hierro, las prensas son las máquinas más económicas y que aprovechan mayor cantidad de material, sin duda porque no se renueva tan fácilmente la capa de óxido que se forma en su superficie, y porque no extraen bien las escorias y lechadas; en cambio, dan un hierro menos compacto y maleable que el trabajado por otros métodos. Los laminadores estiran mejor el hierro y le dan una textura

fibrosa, pero, aunque suelen ser máquinas muy económicas, son las que peor comprimen el hierro y le quitan las impurezas. Los martinetes, si bien son los aparatos que originan mayores gastos y trabajan con más lentitud, son los que dan al metal la mayor compacidad y le dejan más limpio y puro. En vista de esto, para cinglar el hierro, se le somete, de ordinario, á la acción sucesiva de los martinetes y de los laminadores; pero cuando el hierro tenga que trabajarse á una elevada temperatura, podrá convenir emplear primero las prensas y luego los laminadores, porque los martinetes, á causa de la lentitud con que actúan, enfrían considerablemente el metal. En ciertas ocasiones, se usan los tres grupos de máquinas, sometiendo el hierro sucesivamente á la acción de las prensas, de los martinetes y de los laminadores.

Prensas.—Las más usadas son análogas á la representada en la figura 199, que es la que se conoce en Inglaterra con el nombre de *squeezer,* y que también se llama en España *esquizer.* Esta máquina, movida por un medio cualquiera, comprime la zamarra entre un tablero fijo, A, y una placa de hierro fundido, A', adaptada á la parte móvil. El metal, que para este trabajo, así como para los que en seguida se explicarán, debe estar á una alta temperatura, la del calor rojo próximamente, se introduce más ó menos entre la parte fija y la móvil, según sus dimensiones, y, después de haberlo comprimido en varios sentidos, se saca para llevarlo á otras máquinas de cinglar ó á las que le hayan de dar la forma conveniente.

Se emplean también con frecuencia otras prensas menos sencillas: una de las más generalizadas es la *de Brown* (fig. 200), compuesta en esencia de varios cilindros, cuya sección recta afecta la forma necesaria para ir aumentando por grados la energía de la compresión, y que reciben el movimiento por ruedas dentadas, dispuestas en sus extremos. Cuando funciona la máquina, se coloca la zamarra, K, entre los cilindros superiores, y á medida que va descendiendo, se comprime más, hasta que llega á la parte inferior, donde suele recogerse en los topes de una cadena de transmisión, que la eleva á la altura necesaria para hacerla pasar por los laminadores antes de que se enfríe.

Otra máquina cingladora bastante usada es la *prensa horizontal* (fig. 201); en este aparato, un cilindro excéntrico respecto á otro

que lo envuelve, arrastra al girar la zamarra, haciéndola pasar por sitios cada vez más estrechos, hasta que sale por el otro extremo. Como se comprende fácilmente, este medio de cinglar, aunque desaloja mejor las escorias y lechadas, no comprime bien el hierro, pues se observa que muchas zamarras se abren y agrietan, lo que obliga á volver á empezar la operación; además, las prensas se suelen descomponer á menudo, lo que ocasiona frecuentes interrupciones y hace el método bastante costoso, si bien no tanto como el de los martinetes.

Martinetes.—Los *martinetes* que se emplean para cinglar las zamarras de hierro, ó sea para transformarlas en *tochos*, afectan una disposición particular, según los diferentes agentes que los ponen en movimiento. Á veces se mueven por la acción directa del vapor, que se aplica para elevar el émbolo de un cuerpo de bomba al cual va unida la maza pesada de hierro, que ha de producir la percusión; pero ordinariamente se comunica la acción del motor, sea el que fuere, á una rueda de álabes, que es la que levanta la maza y la deja caer sobre el hierro, colocado en el yunque. Los martinetes pueden ser de tres clases, que corresponden á cada uno de los tres géneros de palanca: los que tienen el punto de apoyo en un extremo y la potencia en el otro (fig. 202), son los que utilizan mejor la fuerza y reciben el nombre de *frontales*; los que tienen la potencia entre el punto de apoyo y la resistencia (fig. 203), son los martinetes *de costado*, que se usan mucho; finalmente, los que tienen el punto de apoyo en medio (fig. 204), llamados *de báscula*, son de escasas aplicaciones.

En todos ellos se somete el hierro á la acción de la maza, dándole vueltas para que por todas sus caras reciba el choque del modo más conveniente; á medida que el hierro se va enfriando, los golpes deben sucederse con intervalos más cortos; pero esto no es fácil de conseguir, y muchas veces es preciso volver á caldear el hierro por no haber quedado bien cinglado de una sola vez. La maza de los martinetes suele pesar de 300 á 600 kilogramos: debe ser de muy buen hierro; á menudo se hace de hierro colado duro y compacto, por lo menos en la superficie; pero también es frecuente hacerla de hierro dulce, con una placa de acero, que es la que directamente percute, lográndose así que no se desgaste con rapidez ni reciba la impresión

de los objetos sometidos á su acción. El yunque es casi siempre de hierro fundido.

Uno de los defectos que tienen los martinetes es que, con las vibraciones que ocasionan, se modifica notablemente la textura del hierro, que deja de ser fibrosa y llega á hacerse granuda; así es que, cuando se trata de piezas grandes ó cuando conviene que tengan aquella estructura, no deben trabajarse de este modo.

Los martinetes que se emplean para cinglar el hierro conviene que tengan planas las caras de la maza y del yunque entre las que ha de verificarse la compresión, porque de este modo, al funcionar, hacen que se agriete la bola hacia el centro, facilitando la salida de las escorias. Las superficies del martillo y del yunque, que están en contacto con el hierro, apenas se deforman por el gran roce que se establece entre las moléculas del metal; sin embargo, pudieran construirse algo convexas para compensar lo que se desgasten por el trabajo, pero no debe exagerarse la curvatura. Como los martinetes actúan sobre metal blando, á igualdad de cantidad de movimiento, es preferible aumentar el peso de la maza más bien que la altura de caída, pues de este modo se acrecienta el trabajo útil; pero como á medida que disminuye la caída se aproximan los martinetes, en su modo de trabajar, á las prensas, dependerá la disposición que se adopte del objeto á que se destine el hierro.

Al trabajar el metal es muy común formar barras, que se llaman *paquetes*, por estar constituídas por otras varias barras unidas en sentido longitudinal, porque la experiencia demuestra que, para dimensiones iguales, ofrecen más resistencia los paquetes que las barras sencillas. Los paquetes pueden prepararse con los martinetes ó con los laminadores de que luego se hablará, pero, como regla general, las barras han de unirse entrelazadas y no por superficies planas, para que se suelden bien y se efectúe por completo la salida de las escorias.

Laminadores de cinglar.—Ordinariamente se hace pasar el hierro á los laminadores después de haber sufrido la acción de una de las dos clases de máquinas que se acaban de estudiar; no obstante, cuando haya de tener formas especiales y textura cristalina, no conviene laminarlo. El hierro no ha de pasar inmediatamente desde los hornos á los laminadores, á no ser en ciertas circunstancias, pues aunque

sean máquinas bastante económicas y las que le dan mejor la textura fibrosa, ya se ha indicado que no lo comprimen bien y que siempre le dejan algunas hendeduras.

Todos los laminadores de cinglar constan de dos ó más cilindros con acanaladuras, cuyas formas dependen de la clase de hierro que se quiera preparar. Los cilindros tienen en sus extremos (fig. 205) dos partes más delgadas y bien alisadas, que sirven de gorrones y se apoyan en cojinetes de bronce ó de hierro fundido, colocados en dos armaduras ó cajas sólidamente empotradas, ó unidas á una placa ó plataforma fija en el suelo. Uno de los extremos se prolonga más allá del montante correspondiente, para recibir los órganos de transmisión que imprimen á uno de los cilindros el movimiento producido por un agente cualquiera; el segundo cilindro gira en sentido contrario, por medio de engranajes que le ponen en comunicación con el primero. Generalmente, los cojinetes del cilindro superior se pueden mover algo en las cajas para elevarse lo necesario y dejar pasar el hierro; este movimiento se limita por tornillos colocados en la parte superior de las armaduras, ó por otro medio adecuado. Conviene que haya en estas máquinas alguna pieza que pueda romperse, antes que los cilindros ó sus ejes, cuando se encuentre una resistencia insuperable.

Los cilindros de que se componen los laminadores cingladores tienen practicadas acanaladuras bastante profundas y anchas, en sentido de las secciones rectas, y de dimensiones desiguales, que van disminuyendo de modo que el hierro que salga de una de ellas pueda pasar por la siguiente: deben colocarse las mayores en los extremos para no debilitar demasiado los cilindros. En los laminadores perfeccionados se suele colocar á la altura de la generatriz superior del cilindro inferior, una plataforma ó mesa para apoyar en ella el hierro y presentarlo más cómodamente á la acción de los cilindros; esta plataforma en algunas máquinas, y particularmente cuando hay tres cilindros superpuestos, es susceptible de un movimiento vertical para presentar el hierro, ya delante de los cilindros superiores, ya de los inferiores. Las acanaladuras de estos laminadores tienen á veces boquillas ó partes salientes, con objeto de coger mejor el hierro y hacerle pasar por los cilindros. La forma de las acanaladuras varía mucho, y sólo la práctica puede determinar la más conveniente en cada caso; en general, y aun cuando no sea la misma que en definitiva haya de tener el hierro, debe aproximarse á ella y no separarse mucho de la circular ó cuadrada, para que no se agrieten las barras. Los cilindros son de hierro colado muy duro y compacto, y tanto más lisos cuanto más haya de laminarse el metal. La longitud varía según los hierros que se hayan de trabajar; ordinariamente es de $0^m,80$ á $1^m,20$. La velocidad va aumentando, á medida que se perfecciona la forma del hierro; oscila entre 20 y 200 ó más vueltas por minuto.

El trabajo se hace por dos hombres, uno de los cuales, después de haber pasado la barra por el laminador, la coge con unas tenazas, y ayudado por un muchacho, si es menester, la devuelve por encima de los laminadores para que el otro operario, cogiéndola asimismo con tenazas, la haga pasar de nuevo por la propia canal ó por otra. Estas operaciones deben hacerse con rapidez, para que no se enfríe el hierro, economizándose tiempo y efectuándose mejor el trabajo en los laminadores de tres cilindros superpuestos, porque en este caso, después de pasar hacia un lado todas las barras, el operario que está á este costado, las introduce entre los otros cilindros, verificándose la laminación en ambos sentidos. Cuando las barras se han enfriado bastante, se cortan en pedazos de 50 á 60 centímetros y se forman nuevos paquetes que se caldean hasta el rojo blanco en hornos parecidos á los de pudelar, pero más pequeños y sin corriente de aire exterior. Entonces se vuelven á hacer pasar los paquetes por los laminadores y se repiten todas las operaciones.

MEDIOS DE DAR AL HIERRO LA FORMA CONVENIENTE.

Máquinas que se emplean.—Después de dar al hierro la compacidad y homogeneidad necesarias, hay que hacerle tomar las formas en que se expende en el comercio ó las especiales que en ciertos casos se necesitan. Para conseguirlo se pueden emplear las mismas tres clases de máquinas descritas para la cingladura, aplicando las de un grupo con preferencia á las de otro, según la forma que haya de tener el hierro y el objeto á que se destine.

Las condiciones á que debe satisfacer el trabajo del hierro en caliente, son: 1.ª, que las moléculas vayan por el camino más corto desde la posición que tenían al principio, á la que hayan de ocupar

definitivamente; 2.ª, que no se destruya, sino que, en lo posible, se aumente la fuerza de cohesión del metal.

Para dar una idea de las máquinas que en cada caso se emplean y de las disposiciones que convenga adoptar, se examinará sucesivamente el modo de preparar los hierros *de formas sencillas* ó *complicadas;* los *usuales del comercio;* los *especiales*, como los de sección de *T*, las barras-carriles, etc.; los *palastros;* los *alambres*, y las *cadenas*. El trabajo de todos los hierros, desde que salen de los cingladores, hasta que empiezan á labrarse para aplicarlos á una obra determinada, se hace en caliente, con las únicas excepciones del estiramiento en la hilera para la preparación de alambres y de algunas operaciones, como cortes de barras ó palastros, que se hacen en frío.

Cuando los hierros se han enfriado, hay que caldearlos en hornos reverberos, pero debe procurarse no verificarlo á menudo, para evitar la formación de cantidades considerables de óxido.

Hechas las advertencias anteriores, aplicables á todo lo que sigue, se darán las explicaciones indispensables para que se conozca el modo de trabajar las diferentes clases de hierros que se han indicado.

Hierros de formas sencillas.—Las prensas ó máquinas para dar forma por compresión, convendrán cuando se trate de hierros que hayan de sufrir pocas variaciones durante el trabajo, obteniéndose de este modo un metal bastante bueno y compacto, siempre que las prensas estén dispuestas de suerte que constituyan moldes de forma adecuada al objeto que se haya de preparar. Las placas de blindaje, los émbolos de ciertas máquinas, los topes de los vagones y algunas ruedas, pueden trabajarse de este modo.

Hierros de formas complicadas.—Si las piezas que hay que fabricar tienen formas extrañas ó complicadas, se trabajan ordinariamente con el martinete, como se hacía antes para toda clase de barras. En este caso queda á la práctica del operario la manera de colocar las piezas para recibir la acción de la maza, á fin de conseguir dar pronto forma al objeto y llenar, en cuanto sea factible, las condiciones expuestas.

Hierros usuales del comercio.—Clasificación de los hierros.—Los hierros usuales del comercio son barras de sección rectangular, cuadrada ó circular, que tienen una longitud variable, pero que no suele pasar de cuatro ó cinco metros, y que reciben diversos nombres en cada localidad, según sean las dimensiones transversales, que, por regla general, varían desde menos de un centímetro á poco más de ocho, tanto para los lados de cuadrados y rectángulos, como para los diámetros de círculos. En la imposibilidad de reseñar todos los nombres locales, se indicará: 1.°, que las barras de sección cuadrada se suelen llamar *hierros cuadrados* ó *cuadradillos*, reservando la última denominación para las barras cuya sección no pasa de 2 á 3 centímetros de lado (1); 2.°, que las de sección rectangular, en que un lado es por lo menos cuatro veces mayor que el otro, reciben el nombre de *llantas*, y los de *llantillas* y *flejes* aquellas en que el grueso es relativamente menor (2); 3.°, que los hierros de sección circular se conocen con la denominación genérica de *redondos* ó *cabillas*, y con la especial de *varillas* si el diámetro no llega á 2 centímetros.

Los hierros del comercio se pueden forjar en martinetes ó laminadores; aunque se usan más estos últimos, se explicarán brevemente ambos procedimientos.

Forja en martinetes.—Las barras de sección cuadrada ó rectangular se trabajan fácilmente en los martinetes ordinarios, debiendo el operario colocar el hierro de la manera más á propósito para dar á la barra las dimensiones que se requieran.

Si las barras han de ser redondas, ya no conviene que sean de caras planas los yunques y mazas, porque si bien es cierto que la forma exterior sería buena, el interior de la barra no quedaría bien comprimido, resultando diminución en la bondad del hierro. Se prefieren los yunques y martillos cóncavos, que tienen la facultad de comprimir las fibras en dirección del centro; obteniéndose tanto mejores resultados cuanto más se aproximen las curvaturas de aquellos á la que haya de afectar la sección de la barra. No siendo posible, sin embargo, tener en las ferrerías una variedad tan grande de martinetes, se usan ordinariamente los yunques en forma de *V* (figu-

(1) Las barras de sección cuadrada de 35 milímetros de lado (dos dedos), suelen llamarse *palanquillas*; las de 52 milímetros (tres dedos), *hierros torchuelos* ó *medios torchos*; y *torchos*, las de 70 milímetros (cuatro dedos).

(2) Las barras de sección rectangular de 52mm×9 (tres dedos de ancho, por ½ de grueso), se conocen con los nombres especiales de *hierro cellar, cuchillero, arquero* ó *planchuela;* y las de 87mm×17 (cinco dedos de ancho, por uno de grueso), con el de *hierro carretil*.

ra 206), y la maza plana: así se consiguen idénticos resultados y se pueden trabajar con el mismo yunque, barras de distinto diámetro. La abertura del ángulo suele ser de unos 80°.

Forja en laminadores.—El empleo de laminadores, á la par que produce un hierro fibroso, bueno para las aplicaciones corrientes, es más económico que el de las máquinas anteriores, pues se aprovecha mejor el calor, á consecuencia de la rapidez de las operaciones, y no es necesario, por consiguiente, caldear el hierro con tanta frecuencia.

El trabajo de *desbaste* y *afinación* de las barras en estos aparatos, es análogo al que se efectúa en los laminadores de cinglar; consiste en hacer pasar la barra por una serie de acanaladuras de dimensiones cada vez más pequeñas, hasta darle la forma conveniente. Los laminadores que se usan son parecidos á los ya descritos, pero los cilindros que los componen deben ser de mayor solidez, por tener que trabajar casi siempre el hierro más frío. Las acanaladuras son menores y se aproximan más á la sección definitiva del hierro; carecen de rebordes ó boquillas para sujetar las barras, que son arrastradas únicamente por la adherencia y el roce con los cilindros, cuya velocidad debe ser también superior á la de los que se emplean para cinglar.

Corte de los hierros.—Después de pasar los hierros por los laminadores y antes de almacenarlos, es preciso algunas veces darles las dimensiones convenientes, cortándolos transversal ó longitudinalmente.

El primer modo de división, que es el más frecuente, se practica con tijeras análogas á las empleadas para cortar el hierro en frío, con cortafríos ó también con sierras circulares, muy gruesas, muy resistentes y de dientes menos agudos que los de las que se usan para aserrar maderas. Estas sierras van montadas en un árbol animado de gran velocidad; la barra se coloca en un carretón ó bastidor móvil, de modo que al presentarse á la acción de la sierra ejerza sobre ella cierta presión.

El corte en sentido longitudinal puede verificarse asimismo por medio de sierras, pero se emplea también una máquina muy parecida á los laminadores, y que consta (fig. 207) de dos cilindros armados de cuchillos circulares y delgados de acero ó hierro acerado, que

deben sobresalir de la superficie del cilindro una longitud mayor que el espesor de la barra que se trata de dividir. El espacio comprendido entre los cuchillos, se llena con arandelas del mismo espesor, pero de diámetro más pequeño, que los conservan á distancias iguales al ancho de las piezas que se quiere obtener. Cada juego de cuchillos se aplica por un lado á una arandela, que forma cuerpo con el árbol, y está cubierto, por el opuesto, con otra arandela móvil. Los hierros cortados longitudinalmente ó *hendidos*, se usan principalmente para la fabricación de clavos.

Diferentes propiedades de los hierros del comercio.—Los hierros forjados que se expenden en el comercio pueden ser *dulces* ó *maleables* y *agrios* ó *quebradizos*. Se distinguen por su composición, pues los primeros tienen muy pocas impurezas, y tantas menos cuanto más dúctiles sean y más á propósito para emplearse en herrajes de labra delicada; los otros, por el contrario, tienen dosis apreciables de azufre, fósforo, arsénico, silicio, carbono, manganeso y otros cuerpos, y no se prestan á extenderse en placas, ni á estirarse en alambres.

Los caracteres indicados no sirven para reconocer por su aspecto las condiciones de los hierros. Como regla general, puede decirse que los hierros dulces tienen un color gris azulado y que su fractura presenta granos algo alargados, con tendencia á formar fibras, ó una apariencia ganchuda. No se necesita gran práctica para apreciar estos caracteres, pero se requiere muy grande para deducir por las propiedades físicas, sin acudir á experimentos previos, si un hierro dulce es *blando* ó *duro*, calificativos que no necesitan explicación, y que se emplean para distinguir en la industria los hierros maleables.

La estructura granuda ó laminar, y sobre todo la última, así como también una coloración muy clara, son caracteres distintivos de los hierros agrios. Pero conviene tener presente que entre éstos hay hierros *quebradizos en frío*, circunstancia que se debe, según algunos autores, á proporciones algo considerables de fósforo, y cuyo empleo hay que proscribir terminantemente por ser muy temibles las roturas después de colocados en obra: otros hierros son *agrios en caliente*, lo que suele atribuirse á la presencia del azufre ó del arsénico; estos hierros podrían emplearse en gran número de casos, si no fuera por la dificultad de trabajarlos, á consecuencia de que no tienen la propiedad de los hierros dulces de soldarse entre sí y pres-

tarse á recibir diversas formas con el auxilio del calor; sucede, sin embargo, á veces que el metal adquiere maleabilidad y ductilidad entre ciertos límites de temperatura, y entonces se puede salvar el inconveniente.

Hierros especiales.—Para fabricar ciertos hierros especiales, como los de sección de C, de T y de doble T, los *de ángulo* ó *cantoneras*, los *carriles*, etc., se pueden emplear martinetes, pero casi siempre se usan laminadores, dispuestos de modo que la sección de sus acanaladuras se vaya aproximando cada vez más á la definitiva del hierro. La figura 208 da idea del trazado de las acanaladuras para un laminador destinado á fabricar carriles de cabeza doble.

De ordinario las superficies de los hierros especiales, deben quedar perfectamente terminadas, y los planos de las cabezas ser perpendiculares al eje de la pieza. Los cortes en sentido transversal se efectúan por los medios indicados al hablar de los hierros usuales del comercio, y para la alisadura y afino de las superficies, se emplean métodos análogos á los que se siguen para la mayor parte de los hierros, que, aunque sea ligeramente, se darán á conocer más adelante.

Excusado es decir que estos hierros, sometidos casi siempre á esfuerzos considerables, se tienen que preparar con paquetes de barras duras y muy resistentes en frío.

Las dimensiones y los pesos de los hierros especiales varían según las fábricas, á cuyos catálogos conviene acudir cuando se redacta un proyecto, para no proponer piezas que salgan fuera de las condiciones usuales. Al final de esta tercera sección se incluye una lista de varios establecimientos españoles dedicados á la fabricación de metales y máquinas, lista que basta para que se comprenda que tan importantes industrias se van extendiendo por el país, haciendo concebir fundadas esperanzas de que no transcurran muchos años sin que España deje de ser tributaria en materia de hierros, de naciones que, como Inglaterra, Alemania, Bélgica y Francia, la han surtido en absoluto hasta época muy reciente.

La diversidad de dimensiones y pesos de los hierros especiales, en tan alto grado importantes en el servicio de Obras públicas, es, como se ha indicado ya, muy grande: cada fábrica tiene sus modelos particulares, y no hay duda alguna de que convendría mucho llegar á la unificación. Así se ha comprendido en Alemania, donde una comi-

sión ha redactado una colección de perfiles normales, que se han admitido por gran número de corporaciones oficiales y de fábricas. La colección de perfiles se ha publicado en 1881 por los Sres. Heinzerling é Intze, individuos de la comisión y profesores de la Escuela tecnológica de Aquisgrán.

Palastros.—El hierro se expende también en el comercio en forma de planchas más ó menos gruesas, que reciben el nombre de *chapas* ó *palastros*, reservándose comúnmente el último nombre para las placas que tienen más de 5 milímetros de espesor. Estas láminas de hierro se fabricaban hasta no hace muchos años con martinetes, pero hoy se preparan casi exclusivamente con laminadores. Se darán á conocer ambos procedimientos.

Fabricación con martinetes.—Para emplear los martinetes es preciso extender primero el hierro poco á poco, estirándolo al mismo tiempo. Se usa para ello una herramienta llamada *estampa* ó *embutidera* (fig. 209), que consiste en un cuchillo de hierro redondeado y grueso, provisto de un mango bastante largo. La embutidera se coloca sobre el hierro para recibir la percusión de la maza del martinete, y se va moviendo á cada golpe de éste, corriendo también la pieza de hierro. De esta manera se forman en aquella una serie de estrías, que se hacen desaparecer golpeándola directamente. Si de una sola vez no ha quedado reducido el material al espesor que se desee, se repite la operación; cuidando entonces de hacer las estrías en otro sentido. Después de adelgazado el hierro lo que fuere necesario, se estira é iguala su superficie sometiéndolo á la acción de otros martinetes de marcha más lenta y muy anchos, con objeto de aplanar y dejar bien lisas las caras de las planchas. Se comprende que de esta manera, por mucho cuidado y práctica que se tenga, es muy difícil conseguir que los palastros queden con espesor uniforme, por cuya razón se prefiere trabajarlos en laminadores.

Fabricación con laminadores.—En éstos se lamina el hierro de una manera parecida á la que ya se conoce, procurando desde luego darle todo el ancho que deba tener, para no cuidar después más que de estirarlo hasta que se reduzca al espesor necesario, tratando al mismo tiempo de que no se produzcan grietas. Los laminadores destinados á fabricar palastros se componen de cilindros lisos; el superior debe tener un movimiento vertical, para que pueda disminuirse su

distancia al inferior, á medida que se va adelgazando la hoja. Las máquinas laminadoras no son en realidad cilíndricas, sino que están limitadas por superficies de revolución, cuyas meridianas son curvas de muy pequeña curvatura y que presentan una ligerísima concavidad hacia el exterior: esta disposición obedece á que, siendo la parte central de los laminadores el sitio por donde empiezan á introducirse las barras, cuando no tienen aún el ancho que los cilindros permiten, y dilatándose éstos más por el centro que por los extremos, á causa de la elevación de temperatura que experimentan en contacto con el hierro al rojo, resultarían las hojas más delgadas por el medio que por los extremos, si no se tomara la precaución indicada.

Cuando las chapas que se han de trabajar son muy delgadas, se laminan juntas varias de ellas, y para que no se adhieran ó se suelden unas con otras, se sumergen, antes de someterlas á la compresión, en una legía ó en agua mezclada con arcilla ó greda, pero sin nada de sílice, que podría ser perjudicial.

Corte de los palastros.—Después de fabricadas las láminas se reducen á la dimensión conveniente por medio de tijeras y cortafríos. También se suele emplear una especie de *guillotina,* que consiste en una cuchilla de grandes dimensiones, colocada entre dos sólidos montantes provistos de guías para dirigir su descenso. Con estas máquinas se pueden cortar de un solo golpe hasta láminas de 3 metros de ancho, produciéndose una sección limpia y á escuadra con las caras del palastro.

Aplanamiento de las hojas.—Las chapas ú hojas muy delgadas se suelen encorvar y colocar en hornos de recalentar, para someterlas después á la acción de mazos ó martinetes muy anchos, con objeto de aplanarlas y dejarlas completamente concluidas.

Palastro ondeado.—Á veces en lugar de aplanar las láminas de palastro se hace que adquieran una superficie ondeada, aplicándolas calientes en moldes á propósito y que presenten ondas con las curvaturas que se desee obtener. El palastro ondeado se emplea bastante en las construcciones, sobre todo para cubiertas de edificios.

Alambres.—También se usa el hierro en forma de hilos más ó menos delgados, que se llaman *alambres*. El hierro destinado á este objeto debe ser muy dulce en caliente para prestarse á un adelgazamiento suficiente, por la acción de los laminadores; muy dúctil y re-

sistente en frío para poder estirarse en la hilera; y más bien duro que blando, á causa de la textura nerviosa que adquiere por el trabajo. Los hierros más á propósito son los obtenidos y afinados con carbón vegetal. Se fabrican alambres de varios números, cada uno de los cuales se refiere á un grueso distinto; para poder conocer á qué número pertenece un alambre, se hace uso de una chapa de hierro circular llamada *calibrador*, en cuyo contorno hay diferentes mortajas numeradas, relacionadas con los diversos diámetros de que se construyen los alambres. Los calibradores más comunes son el de París (fig. 210) y el inglés: este último tiene 27 números, correspondiendo el cero al diámetro de 8 milímetros y el 26 al de medio milímetro; en el calibrador de París, á medida que aumenta el número crece también el diámetro del alambre, como se ve en el cuadro siguiente:

Números.	Diámetro. — *Milímetros.*	Peso de cada 100 metros. — *Kilogramos.*
5	1,0	0,642
6	1,1	0,740
7	1,2	0,881
8	1,3	1,034
9	1,4	1,199
10	1,5	1,397
11	1,6	1,566
12	1,8	1,983
13	2,0	2,448
14	2,2	2,962
15	2,4	3,525
16	2,7	4,461
17	3,0	5,507
18	3,4	7.074
19	3,9	9,307
20	4,4	11,846
21	4,9	14.692
22	5,4	17,843
23	5,9	21,300
24	6,4	25,063
25	7,0	29,983
26	7,6	35,343
27	8,2	41,444
28	8,8	47,386
29	9,4	54,607
30	10,0	61,490

Fabricación de alambres.—Para fabricar los alambres se hacen pasar primero las barras por laminadores hasta reducirlas á un diámetro de unos 8 milímetros, que á veces baja hasta 5 ó 4, y si hay que adelgazarlos aún más, se llevan á las hileras. Se reducen éstas á placas de acero, en las que hay practicados varios agujeros de distintos diámetros; los agujeros son de forma cónica y se hace entrar el hilo por la parte más ancha. Las hileras se perforan en caliente con un punzón cónico, de vértice muy agudo. El espesor de las placas varía de 12 á 25 milímetros, según los casos.

Para hacer pasar el hierro por la hilera, se principia por aguzar la punta de modo que, pasando por uno de los agujeros, se pueda agarrar por el otro lado con unas tenazas. Al retroceder éstas mantienen sujeto al hilo y le van haciendo alargarse, soltándolo cuando llegan al fin de su excursión, y volviendo á la hilera para cogerlo de nuevo, si el hilo es grueso; pero si es delgado, las mismas tenazas lo arrollan á un carrete cónico vertical, animado de un movimiento de rotación, que desarrolla el esfuerzo de tracción necesario para que continúe estirándose y devanándose el hilo. El trabajo en las hileras se efectúa siempre en frío. Con objeto de disminuir los rozamientos, se engrasan los agujeros y el alambre, ó lo que es mejor aún, se hace pasar éste á través de grasa, colocada previamente en el taladro correspondiente de la hilera.

La velocidad ha de ser uniforme en cada pasada, pero variable con la naturaleza del hierro y el objeto y diámetro del alambre, debiendo aumentar, á medida que crezca el número de veces que el hierro se sujete á la acción de la hilera.

Los agujeros están dispuestos de modo que no necesite pasarse el hilo por todos, sino cuando se aproxime á tener el diámetro que le corresponda. Si el alambre ha de pasar muchas veces por la hilera, se hace poco dúctil y es preciso *recocerlo*, cuya operación se practica, bien en reverberos, donde se le somete á la temperatura del rojo obscuro, bien en montones de carbón ó en vasijas cerradas, después de lo cual puede volver á pasarse por la hilera: como siempre se forma una capa de óxido, que podría, no sólo perjudicar á la bondad del alambre, sino deteriorar las hileras, se hace desaparecer por medio de ácido sulfúrico diluído próximamente en 240 veces su peso de agua; sin embargo, para los hilos recocidos al descubierto debe emplearse un ácido más concentrado: antes de volverlos á estirar se dejan secar algunas horas. El alambre recocido es muy flexible y dulce; así es que se usa en todos los casos en que se requiere que los hilos puedan doblarse y retorcerse mucho sin romperse.

Para obtener hilos muy finos, y particularmente de ciertos metales más dúctiles que el hierro, se disponen hileras con zafiros, rubíes y otras piedras muy duras, en las que se practican agujeros sumamente pequeños y bien pulimentados; pero esta fabricación no tiene interés para el Ingeniero.

Aplicaciones del alambre.—Sirven los alambres para la preparación de clavos y tornillos, cerramientos, cables de gran resistencia (que se tuercen de una manera análoga á la explicada para los de cáñamo) y otra multitud de usos. El alambre que se emplea en telegrafía, como vehículo de la electricidad de una estación á otra, es de hierro galvanizado, es decir, cubierto de una delgadísima capa de zinc, por los procedimientos que más adelante se indicarán: varía su diámetro de 3 á 5 milímetros.

Cables de alambre.—De todas las aplicaciones enumeradas, sólo necesita decirse algo acerca de los *cables de alambre*. Pueden construirse con ó sin alma de cáñamo; á igualdad de fuerza, son más económicos y menos voluminosos que los ordinarios. Empezaron á usarse en 1831, en las minas de las montañas de Hartz, y desde esa fecha se han generalizado muchísimo. Se hacen *redondos* y *planos*: los primeros constan regularmente de 6 cordones de igual número de alambres, y los otros de 6 cordones también, pero compuesto cada uno de 24 alambres.

Se emplean estos cables para la jarcia firme de los buques, siendo la fábrica más completa, de las que surten á la marina, la del arsenal de Charlestown (Massachusets, Estados-Unidos). En la industria se usan cada vez más para la extracción de minerales, para la transmisión de fuerzas á distancia, para el arrastre de vehículos por planos inclinados, etc., etc.

El cuadro siguiente contiene, para los cables de alambre, datos semejantes á los que se consignaron en lugar oportuno para los de cáñamo:

Datos relativos á cables de alambre.

Diámetro de los alambres. — *Milímetros.*	CABLES REDONDOS DE 36 ALAMBRES. Diámetro del cable. — *Milímetros.*	Carga que pueden sostener. — *Kilogramos.*	Peso del metro lineal de cable. — *Kilogramos.*	CABLES PLANOS DE 144 ALAMBRES. Grueso del cable. — *Milímetros.*	Ancho del cable. — *Milímetros.*	Carga que pueden sostener. — *Kilogramos.*	Peso del metro lineal de cable. — *Kilogramos.*	Radio mínimo de las poleas ó tambores en que se arrollan. — *Milímetros.*
1	8,0	256	0,25	6,0	36,0	1.024	1,00	555
1,2	9,6	369	0,36	7,2	43,2	1.474	1,45	666
1,4	11,2	502	0,49	8,4	50,4	2.007	1,98	777
1,6	12,8	655	0,64	9,6	57,6	2.621	2,58	888
1,8	14,4	829	0,81	10,8	64,8	3.317	3,27	999
2,00	16,0	1.024	1,00	12,0	72,0	4.095	4,03	1.110
2,25	18,0	1.296	1,26	13,5	81,0	5.183	5,10	1.249
2,50	20,0	1.600	1,56	15,0	90,0	6.399	6,30	1.388
2,75	22,0	1.936	1,89	16,5	99,0	7.743	7,62	1.526
3,00	24,0	2.304	2,25	18,0	108,0	9.215	9,07	1.665

Cadenas de hierro.—En el comercio se encuentra asimismo el hierro en forma de *cadenas*, ó sea un conjunto de eslabones más ó menos gruesos, entrelazados entre sí, que constituyen un cable flexible y de uso general en marina, minería, maquinaria, etc.

Las principales clases de cadenas son las *comunes* de eslabones oblongos, alargados ó recogidos; las *afianzadas*, que tienen en el centro y parte interior de cada eslabón un travesaño, de hierro también, llamado *mallete*, y que ofrecen mayor resistencia y se enredan menos que las ordinarias; las *de gancho* ó *de Vaucanson*, que se usan como órganos de transmisión de fuerzas en las máquinas, y están formadas, por lo general, de eslaboncillos rectangulares ó trapeciales entrelazados (fig. 211); las *articuladas* ó *de Galle*, que tienen aplicación semejante á las anteriores y se componen de chapas, que pueden moverse alrededor de los pasadores que las unen (fig. 212); etc., etc.

Los *cables de cadena* ó *de hierro*, que tanto se emplean en marina y que son los que se enganchan á las anclas, se reducen á gruesas cadenas afianzadas, de longitud indeterminada, pues de 15 en 15 brazas (25 en 25 metros) llevan un grillete que puede zafarse, siempre que se quiera añadir ó quitar un trozo.

Las cadenas se tienen que fabricar con hierro muy dulce y de excelente calidad: en cuanto á la manera de forjar los eslabones y de soldarlos, si no se unen por pasadores, como en las cadenas articuladas, nada hay que agregar á lo que ya se ha dicho, y á lo que en lo sucesivo se dirá, sobre el modo de trabajar los objetos de hierro.

Se admite que la carga de prueba de las cadenas debe ser proporcional á la sección total de las dos ramas de cada eslabón, y á razón de 15 kilogramos, por milímetro cuadrado, en las ordinarias, y de 17 en las afianzadas. Sin embargo, en la práctica no conviene someterlas á tensiones mayores que la mitad de la carga de prueba.

Colocación de las máquinas.—En las fábricas en que se hace sufrir al hierro las transformaciones que exige para adquirir las variadas formas en que se encuentra en el comercio, se colocan las máquinas por orden, y de modo que desde las forjas ó los hornos altos vaya pasando el hierro sucesivamente por todas las que sean necesarias hasta el otro extremo del taller, de donde debe salir completamente trabajado.

Defectos que suele ofrecer el hierro forjado.—Los de-

fectos principales de fabricación que suele presentar el hierro forjado, son: 1.°, flojedad ó dobladura, ó sean huecos y falta de trabazón entre las fibras, que quitan al hierro mucha resistencia; 2.°, cenizas ó materias extrañas interpuestas, que si abundan lo transforman en hierro agrio; 3.°, pajas ó grietas superficiales, que proceden de estar mal trabajado; 4.°, grietas transversales, que pueden influir de un modo notable en la resistencia á la flexión; 5.°, falta de homogeneidad en las fibras. Al examinar los hierros que se hayan de emplear en una obra, debe verse si tienen estos defectos y desechar los que no ofrezcan suficientes garantías de resistencia (1). Convendrá examinar la densidad del metal, que, si es compacto y está bien trabajado, no bajará de 7,78 á 7,80.

OPERACIONES Á QUE HAN DE SOMETERSE LOS HIERROS ANTES DE COLOCARLOS EN OBRA.

Todas las operaciones que se han descrito hasta ahora tienen por objeto dar á los hierros la forma en que se expenden en el comercio; pero es menester, para poderlos colocar en obra, someterlos á nuevas preparaciones, en virtud de las cuales afecten la disposición que en definitiva hayan de tener; de éstas, unas se ejecutan en caliente, constituyendo el trabajo del *herrero;* y otras en frío, que pueden efectuarse por *cerrajeros* ó con *herramientas mecánicas.* En los artículos siguientes se dará idea de todas ellas, consagrando uno especial al trabajo del palastro ó de *calderería*, por la importancia grande que tiene para el Ingeniero.

TRABAJO DEL HERRERO.

Herramientas.—Las principales herramientas y enseres empleados por los herreros son la *fragua*, las *tenazas*, la *bigornia* y *yunque*, los *martillos*, las *estampas*, los *mandriles*, los *punzones* y las *claveras*.

La *fragua* ó *forja* es sencillamente un hogar elevado, con uno ó

(1) Al final de la sección tercera se incluye un cuadro, en que constan los esfuerzos que pueden resistir los diferentes hierros y otros metales.

más fuelles para activar la combustión; las hay portátiles para emplearlas al pie de obra, y en este caso los fuelles se mueven por medio de pedales, palancas ó volantes.

Las *tenazas* sirven para sacar el objeto de hierro de la fragua y para sostenerlo sobre el yunque mientras se trabaja, cuando es de pequeñas dimensiones.

La *bigornia* (fig. 213) es una masa prismática de hierro, terminada en dos de las caras laterales opuestas por una pirámide y un cono; en su parte inferior lleva una espiga, también de hierro, que se asegura en un tajo ó banco de madera, que sirve de base. Cerca de uno de sus extremos, está abierto un agujero, cuyos usos se verán muy pronto. La superficie superior de la bigornia, sobre que se ha de batir el metal, se llama *tabla*, y debe estar acerada; y las puntas laterales se denominan *bicornios*. Las bigornias pequeñas (fig. 214), que van montadas en un tajo portátil, reciben el nombre de *bigornetas*. El *yunque* no se diferencia de la bigornia más que en que carece de bicornios.

Los *martillos* son análogos á los de carpintero, aunque de mangos mucho más largos, y la maza de mayor peso.

Las *estampas* son herramientas compuestas de dos partes, y sirven para dar al hierro que se trabaja alguna forma particular. Una de las partes lleva un remate, que se introduce en el agujero de la bigornia y tiene en relieve ó en hueco la forma que en hueco ó en relieve se desee dar al objeto que se trabaja. Sobre ella se coloca éste, después de calentado ó enrojecido en la fragua, y encima se dispone la otra parte de la estampa, sobre la cual se golpea fuertemente. Las estampas que se colocan encima están provistas de un mango largo de madera; la figura 215 contiene varios dibujos de ellas.

Los *mandriles* son moldes de hierro de diferente sección (circular, cuadrada, etc.), sobre los que se forjan las piezas huecas.

Los *punzones* son barretas de hierro terminadas en punta acerada y sirven para abrir agujeros. La sección de los punzones es en general circular, aunque también los hay que la tienen poligonal. Para abrir un agujero se empieza por caldear el objeto, se coloca luego en la bigornia, de modo que el sitio por donde haya de horadarse quede encima del agujero de la tabla, y entonces con el punzón,

sobre el cual se golpea con martillos, se practica el orificio. Á veces los punzones llevan mangos semejantes á los de las estampas, como el que está dibujado en la figura 216. Los taladros de cualquier especie hechos en metal, se agrandan y redondean con una herramienta de acero, en forma de punzón esquinado, con sección cuadrada ó poligonal, que recibe el nombre de *escariador*.

Las *claveras* son los moldes ó matrices que se emplean para la fabricación de pernos ó clavos. Constan de una barreta hueca y cilíndrica de hierro, cuya superficie interior corresponde á la forma que hayan de tener aquellos. Para hacer un clavo se fija la clavera verticalmente, y sobre ella se coloca la varilla ó alambre enrojecido, que se golpea con el martillo para que se introduzca hasta ocupar la cavidad del molde. Si la cabeza del clavo ha de ser irregular, se remacha el metal que quede fuera de la clavera: en caso de que deba tener forma determinada, se hace uso de una estampa especial, que se conoce también con la denominación de *clavera*.

Principales operaciones de herrería.—El trabajo de los herreros se verifica con una sola ó con varias manos. Cuando por la pequeñez ó poca importancia del objeto que se fabrica, puede el herrero sujetarlo sobre la bigornia con las tenazas que tiene en la mano izquierda, mientras que con la derecha maneja el martillo, se dice que se ejecuta el trabajo con una sola mano. En caso contrario, se efectúa por el herrero y otros operarios llamados *majadores;* el herrero sostiene el objeto en la bigornia y los majadores son los que golpean con los mazos. Los martillazos los dan alternativamente, y levantando los martillos sobre la cabeza, en otro martillo de mango pequeño, que con la mano derecha apoya el herrero en la parte de la pieza que deba recibir los golpes. Se calienta el hierro cada vez que se necesite hasta terminar la operación.

Corte y prolongación de barras.—Los herreros tienen frecuentemente que cortar y prolongar las barras. Para cortar una barra, se la coloca después de caldeada, de suerte que el punto porque se haya de cortar, quede entre dos piezas algo afiladas (fig. 217), fija una en el agujero de la tabla, y la otra, sobre la cual se golpea, provista de un mango. Claro es, que el corte pudiera hacerse también con un martillo ordinario y una de las piezas representadas en la figura.

Para prolongar las barras longitudinalmente, se hace lo que se

llama *unión al tope*, operación que consiste en calentar las barras por los extremos que han de adherirse, y dejarlas caer verticalmente sobre la tabla de la bigornia ó sobre una plancha de hierro colocada en el suelo, con lo cual se ensanchan ó engruesan; después no hay más que juntar y golpear los extremos ensanchados. El ensanchamiento de los extremos es indispensable, porque si no se hiciera, se estrecharía la sección con los golpes que se dan para soldarlos. Además, á causa de la facilidad con que se oxida el hierro y con objeto de evitar que la producción de óxido haga que las dos barras no se unan bien, hay que tener la precaución de espolvorear los extremos correspondientes con arena seca, originándose de esta manera un silicato fusible que salta al golpear, arrastrando consigo todo el óxido formado.

Unión de patilla.—Otra operación es la de *juntar de patilla*, que consiste en soldar dos piezas, de manera que se encuentren en la dirección que se desee. Se ejecuta, como la unión al tope, calentando las dos superficies que han de quedar en contacto, después de espolvorearlas con arena, y golpeando en seguida hasta que se verifique la soldadura.

Formación de paquetes.—La formación de paquetes constituye la operación que los herreros llaman *liar*. Para efectuarla no hay más que calentar las barras, previamente espolvoreadas, y unirlas por la acción repetida y enérgica de los martillos.

Encorvadura de barras y formación de anillos.—Para encorvar las barras ó formar anillos sirven los bicornios, á los cuales se aplican aquellas después de caldeadas.

Naturaleza del combustible y temperatura á que debe trabajarse.—Hay que tener en cuenta en el trabajo del hierro dos circunstancias, que son: la naturaleza del combustible y la temperatura á que debe someterse el objeto que se trabaja.

La naturaleza del combustible es de suma importancia, pues si contiene azufre, fósforo, arsénico ó cualquiera otra substancia capaz de combinarse ó mezclarse con el hierro, puede alterar la calidad de éste, haciéndolo frágil y quebradizo. En el carbón de leña no se encuentra ninguno de aquellos cuerpos, pero tiene el inconveniente de producir muchas chispas y pasarse demasiado pronto. Los combustibles preferidos comúnmente, son hullas que no contengan mate-

rias perjudiciales ó que las encierren en proporciones muy pequeñas.

En cuanto á la temperatura á que debe someterse al hierro para trabajarlo, hay que considerar que, si es muy baja, los martillazos hacen poco ó ningún efecto, y si es muy elevada, el hierro se quema ú oxida completamente. Debe adoptarse, por tanto, un término medio, que se puede fijar en el rojo blanco.

Soldadura.—Cuando se trata de unir el hierro con otro metal, y en general, piezas metálicas que no se adhieran directamente, es menester hacerlo empleando la *soldadura*, composición ó liga de metales más fusible que los que se trata de enlazar. Con objeto de facilitar la fusión y de hacer desaparecer, al propio tiempo, de la superficie de los metales los óxidos que se hayan podido formar, se añade un fundente que sirve, por decirlo así, de vehículo para establecer un contacto íntimo entre los elementos de la soldadura y las piezas metálicas.

La soldadura se llama *floja* ó *blanda*, cuando se funde antes del calor rojo, y si necesita para ello una temperatura más elevada, se denomina *fuerte* ó *dura*.

El estaño y el plomo, con una corta cantidad de cobre ó plata, forman la soldadura blanda, y los fundentes que se emplean son la resina común, para el estaño, cobre ó hierro; el sebo, para el plomo, y la sal amoniaco, para el bronce.

La soldadura fuerte se compone de bronce amarillo y un exceso de zinc; los fundentes son el bórax ó la sal amoniaco.

Claro es que no podrá emplearse la soldadura floja sino en piezas que no hayan de estar sometidas á temperaturas superiores á la del calor rojo.

Para soldar dos objetos se interpone entre las superficies que han de unirse, la soldadura y el fundente pulverizados, se aprietan con alambres, se llevan á la fragua hasta que se verifique la fusión de la soldadura, y se golpean luego para que queden perfectamente unidos. Las rebabas que produce la soldadura, se quitan con la lima.

TRABAJO DEL CERRAJERO.

El herrero da á los objetos que trabaja una forma poco diferente de la que han de tener en definitiva, pero aún hay que perfeccionar y

pulir ó bruñir las superficies, labrar los tornillos ó tuercas que hayan de llevar las piezas, y ejecutar otras varias operaciones, que se hacen siempre en frío, bien á mano, constituyendo entonces el trabajo del *cerrajero*, bien mecánicamente en los talleres de ajustar. Todas estas operaciones, lo mismo se aplican al hierro que á otros metales.

Herramientas de cerrajería.—Los principales enseres y herramientas que se usan en cerrajería, son el *tornillo de cerrajero*, semejante al de carpintero y destinado á sujetar fuertemente los objetos que se trabajan; los *cortafríos;* las *sierras*, que tienen escasa aplicación; las *limas*, y herramientas para *taladrar* y para construir *tuercas* y *tornillos*.

Cortafríos.—Los *cortafríos* ó *cinceles* son herramientas de hierro, con boca y corte de acero bien templado, que sirven para cortar el hierro en frío, golpeando con un martillo. Los hay de muchas formas; el que se representa en la figura 218, es un buril ó barreta muy acerada, que se emplea en obra gruesa.

Limas.—Las *limas*, que tienen por objeto pulir las superficies, son de hierro más ó menos acerado, de forma muy diversa, y están cubiertas de asperezas, que constituyen una superficie rugosa que muerde y desgasta el metal. Cuando las asperezas son dientes gruesos y triangulares hechos con punzón, la herramienta se llama *escofina*; si las desigualdades provienen de estrías hechas con cincel, resultan las *limas* propiamente dichas. Tanto éstas como las escofinas, reciben diversos nombres, según la forma que afectan, como los de *tablas*, *medias cañas*, *colas de ratón*, etc.

Berbiquíes.—Para taladrar, usan los cerrajeros los *berbiquíes*, que son de muchas clases. El llamado *berbiquí de bomba* ó *bombillo* está compuesto de una barreta de hierro, que tiene agujereado el extremo superior para dar paso á una cuerda que viene á sujetarse á las extremidades de un travesaño de madera torneada; por debajo de éste hay una bola de metal que al propio tiempo que aumenta el peso, contribuye á que reciba el aparato el movimiento rápido de rotación que necesita, y el extremo inferior está dispuesto para colocar el operador, que puede ser una barrena ó *broca* para taladrar, ó un *avellanador*, herramienta que sirve para agrandar ó suavizar los agujeros. La presión de la mano del operario sobre el travesaño, después

de dada vuelta á la cuerda alrededor del vástago principal, hace girar á la barreta hasta que la cuerda toma la misma vuelta en sentido inverso al primitivo; esta operación repetida es la que produce el taladro.

Otro berbiquí bastante generalizado es el *de arco*, que representa la figura 219. El operador va colocado en el eje de un carrete de madera, al que se comunica un movimiento de rotación muy rápido, por medio de un arco, *b*, y una cuerda ó correa, que da una ó dos vueltas alrededor del carrete. El operario se pone en el pecho una placa ó *almohadilla*, *a*, con la que oprime fuertemente la cabeza de la broca, mientras que con la mano derecha imprime á la cuerda el movimiento que hace girar la herramienta.

El bombillo y el berbiquí de arco no suelen usarse sino para abrir agujeros pequeños. De todos los berbiquíes, el más empleado es el *de peto* ó *de pecho* (fig. 220). Se compone de una barra de hierro con doble vuelta unida por una parte recta, que se puede hacer girar actuando con la mano en una chapa, bola ó empuñadura que lleva en el centro. Desde los extremos de la vuelta sigue la barra en direcciones diametralmente opuestas; una de ellas termina en un botón plano de madera, unido con holgura suficiente para que gire con libertad la herramienta, y en la otra extremidad tiene una cavidad piramidal en que se coloca y afirma con un tornillo la barrena, broca ó avellanador. Para hacer taladros en sentido horizontal, el operario apoya el botón del berbiquí en el pecho ó en el estómago, interponiendo una almohadilla ó tabla para no hacerse daño.

Recientemente se han construído otros berbiquíes en que se comunica el giro por un manubrio y el intermedio de dos ruedas de ángulo dentadas. También los hay fijos, de más ó menos potencia, en los grandes talleres de cerrajería.

Fabricación de tornillos y tuercas.—Para fabricar tornillos y tuercas se emplean respectivamente las *terrajas* y los *machos*.

Si los tornillos que se quiere fabricar son de dimensiones pequeñas, la *terraja* se reduce á una placa de acero con varios agujeros de distintos diámetros, en cada uno de los cuales se han labrado dos ó tres espiras de tuerca. Para operar con esta herramienta, se principia por fijar fuertemente en el banco de cerrajero la pieza cilíndrica, en que se ha de labrar la rosca; se introduce su extremo en el orificio correspondiente de la terraja, y haciendo girar ésta, para que vaya mordiendo el metal, se consigue formar el tornillo.

Cuando los tornillos han de tener diámetro algo considerable, hay que emplear la *terraja de dados* ó *de cojinetes*, que se compone de dos piezas ó dados de acero, que reunidos determinan un paralelepípedo recto de base rectangular. En la parte interior de cada uno de los cojinetes se ha labrado algo menos de media tuerca y están unidos por su parte exterior por una guarnición de hierro con mangos largos. Los dados pueden disponerse de dos modos diferentes: ó bien uno de ellos está fijo á uno de los mangos, mientras que el otro puede deslizar á lo largo de una ranura, por medio de un tornillo labrado en el otro mango (fig. 221), ó bien ambas piezas, guiadas también por ranuras, reciben el movimiento de dos tornillos laterales (fig. 222).

Para construir un tornillo con la terraja de cojinetes se fija verticalmente la pieza cilíndrica en que se ha de labrar, en el banco de cerrajero; se introduce su extremo superior entre los dados, que se aprietan fuertemente contra la superficie del cilindro; y en seguida se da vueltas á la terraja, actuando en los mangos, formándose así la rosca del tornillo. Hay que repetir esta operación tres ó cuatro veces, pues de una sola no es fácil que quede bien terminada la pieza.

Las tuercas se fabrican con las herramientas llamadas *machos*. Se componen (fig. 223) de tres partes: la *cabeza*, *a*, el *cuello*, *b*, y el *macho* propiamente dicho, *c;* este último puede ser cilíndrico (fig. 223), cónico (fig. 224) ó cilindro-cónico (fig. 225). En los primeros, la rosca está comprendida entre dos superficies cilíndricas; en los segundos, entre dos superficies cónicas, y los últimos son tornillos cilíndricos, cuyas espiras inferiores se han limado hasta darles la forma representada, de suerte que la rosca queda limitada entre una superficie cilíndrica y otra cónica. La sección recta de los machos no es circular, sino que presenta recortes (fig. 226), á fin de que el metal desprendido no estorbe á la acción del operador y salga por los huecos. La cabeza tiene una sección que corresponde á la de la llave ó *bandeador* con que se mueve. Para principiar á abrir una tuerca se prefieren los machos cónicos ó cilindro-cónicos, que no le dan la forma de una vez, como los cilíndricos, sino gradualmente; la labra puede perfilarse y concluirse con estos últimos.

Para construir una tuerca se empieza por abrir un taladro en la pieza, de un diámetro menor en $\frac{1}{8}$ que el que haya de tener la tuerca, y, sujetando fuertemente aquella en el banco, se hacen penetrar los machos, manejándolos con el bandeador.

Torneadura.—Á veces es preciso dar al hierro una regularidad en su superficie, que no se consigue más que con el torno, con el cual se labran superficies de revolución. Los tornos se describirán en el artículo siguiente, entre las herramientas mecánicas para trabajar el hierro en frío: aquí bastará decir que para medir los diámetros de los objetos torneados, precaución muy importante, sobre todo cuando han de encajar unos en otros, se emplea un compás parecido á los de proporción; las puntas de un lado están encorvadas y sirven para medir el diámetro de las piezas convexas, y las del otro son rectas, para determinar el de las superficies cóncavas.

HERRAMIENTAS MECÁNICAS PARA TRABAJAR EL HIERRO EN FRÍO.

Generalidades.—Muchas de las operaciones que hace á mano el cerrajero se pueden ejecutar con *herramientas mecánicas* en los talleres de ajustar.

La disposición de estos talleres y la descripción de las máquinas que se emplean, así como las formas de los operadores y la manera más conveniente de hacerlos funcionar, salen fuera del programa de esta obra; así es, que sólo se expondrán breves consideraciones sobre el modo de trabajar los metales en frío y acerca de los diferentes tipos de máquinas que para ello se emplean.

Las operaciones que ordinariamente se hacen en frío con el hierro ú otros metales en los talleres, pueden reducirse á siete, que enunciadas en el orden en que deben efectuarse cuando la pieza necesita sufrirlas todas, lo que no sucede casi nunca, son las siguientes: *torneadura*, *alisadura*, *acepilladura*, *perforación*, *construcción de tornillos*, *escopleadura* y *ajuste*.

Torneadura.—Cuando haya que verificar la operación de *tornear*, debe ser la primera que se ejecute, tanto porque en ella se inutilizan frecuentemente los objetos, cuanto porque facilita las siguientes.

La torneadura consiste, como es sabido, en comunicar á la pieza que se trabaja un movimiento rápido de rotación, alrededor de la línea que ha de ser su eje de figura, y en hacer actuar sobre ella un cuchillo de hoja estrecha, que, colocado á una distancia conveniente del eje, vaya labrando por fajas una superficie de revolución.

Tornos de puntas.—Los aparatos que se emplean para tornear los metales, son parecidos á los que usan los carpinteros, pero más fuertes y mejor ajustados. En los tornos más sencillos, que se llaman *de mano*, el operario produce el movimiento de giro por medio de un pedal, y sostiene y dirige el cuchillo, apoyándolo en el hombro ó en la plataforma del torno; con estos instrumentos no pueden labrarse sino objetos pequeños, y se necesita mucha habilidad para hacer un trabajo perfecto.

Para tornear ruedas, árboles gruesos, etc., se usan tornos mucho mayores, que se mueven casi siempre á máquina, que llevan consigo el operador y que suelen llamarse *paralelos*. La figura 227 representa uno de estos aparatos. Á la izquierda del dibujo se ven varias poleas de distintos diámetros ó una sola con diversas gargantas; una correa de transmisión enlaza con el árbol que corre á lo largo del taller, la que convenga para obtener una velocidad adecuada; las poleas están unidas invariablemente al eje de giro, excepto una, que es loca, para poder arrollar á ella la correa, cuando se desee que el torno no funcione. Á la derecha de la figura se ve una varilla terminada en punta, que, por medio de un manubrio, se puede acercar más ó menos á otra varilla, terminada también en punta, que está á la izquierda, y que va montada en el mismo árbol que las poleas motrices, el cual gira apoyándose en cojinetes colocados en sólidos montantes de hierro fundido; de igual material es la armazón que sostiene la varilla de la derecha. La pieza que se va á tornear se conserva entre las puntas, de una manera invariable, ya directamente, ya por el intermedio de *mandriles* ó agarraderos. Entre las dos puntas se indica en la figura el operador, que se fija con tornillos de presión á la distancia adecuada; puede moverse en la plataforma, paralela y perpendicularmente al eje de giro, de suerte que es susceptible de recorrer toda la longitud del objeto y darle en cada punto el perfil que le corresponda.

En algunos tornos de puntas, la varilla que no gira está unida in-

variablemente á los montantes de hierro colado, los cuales tienen un movimiento longitudinal en una ranura practicada á lo largo de la plataforma; llevan en tal caso un tornillo, en su parte inferior, que se fija á la distancia que se quiera del eje de las poleas, por medio de una tuerca.

Las piezas que han de tornearse deben centrarse antes y colocarse de modo que el eje de rotación sea precisamente el de los objetos que se van á labrar. Una vez colocada la pieza en el torno, se hace girar éste con la velocidad conveniente y se aproxima el cuchillo para que vaya desgastando el metal. Se engrasa el eje, á fin de que no se caliente, y á menudo se humedece también el operador para facilitar el trabajo. El diámetro de las piezas se comprueba con los compases que se han descrito en el artículo precedente.

Tornos al aire.—Los tornos de mano y los paralelos que se han dado á conocer, se designan con la denominación de *tornos de puntas*, y tienen su eje horizontal. Existen además tornos, cuyo eje vertical comunica el movimiento de giro á una placa horizontal unida á él, en la cual, y por medio de topes, se asegura la pieza que se ha de labrar; estos tornos son los que se llaman *al aire*. También pueden hacerse tornos al aire de eje horizontal, que en resumen resultan de suprimir en los de puntas, la varilla que no gira; reciben su principal aplicación para tornear objetos pequeños que tienen suficiente estabilidad, apoyándolos sólo en una varilla.

Observaciones sobre la torneadura.—El ángulo que ha de formar el operador con la superficie que se tornea y la velocidad del torno, se hacen variar con la naturaleza de los objetos que se trabajan, debiendo aquella ser pequeña cuando se trata de hierro fundido; mayor para el hierro forjado, que se debe humedecer, á fin de que no se destemplen las herramientas, y aún mayor para el cobre, que no es necesario humedecer, á causa de la poca dureza del metal, que hace que se tornee fácilmente. El trabajo en esta clase de máquinas se ajusta y paga casi siempre por piezas.

Otra clase de tornos.—En la actualidad se construyen también tornos que labran superficies que no son de revolución, como por ejemplo, elipsoides de ejes desiguales. Basta para conseguirlo hacer que, conservándose fijo el operador, el árbol que lleva la pieza, esté montado en un excéntrico, calculado de modo que las distancias del árbol de giro á la hoja del cuchillo, que le es paralela, varíen del mismo modo que los semidiámetros de la elipse principal correspondiente. Se usan poco, y bastan las indicaciones hechas para que se comprenda el principio en que están fundados.

Alisadura.—La *alisadura* tiene por objeto labrar agujeros cilíndricos ó cónicos, pulir la superficie interior de los cilindros y otros trabajos análogos. Los alisadores, sin embargo, son máquinas de escasa aplicación, y se van sustituyendo por las que sirven á la vez para otras operaciones. La manera de trabajar es análoga á la de los tornos; las piezas deben centrarse y colocarse con cuidado en la posición fija que hayan de ocupar, y la herramienta gira en el interior de ellas, desbastando y puliendo la superficie. Estas máquinas se componen, ordinariamente, de una barreta de hierro susceptible de dos movimientos, uno de rotación alrededor de su eje, y otro de traslación en el sentido del mismo: dicha barreta va montada en dos apoyos fijos en una plataforma. El operador se reduce á una placa de acero cortada en bisel por sus dos extremos (fig. 228), que se coloca atravesando la barreta por ranuras practicadas en ella, ó bien se compone de varias láminas, análogas á la anterior, que se sujetan á un manguito de bronce unido á la misma varilla (fig. 229).

Los primeros se usan para cilindros cuyo diámetro esté comprendido entre $0^m,05$ y $0^m,20$, y los segundos para los de mayor dimensión. El movimiento de rotación se obtiene de un modo análogo al de los tornos, y el de traslación por pesos ó por un tornillo y varios engranajes. Hay que trabajar con cuidado para que no se mellen los operadores y produzcan estrías en las piezas, sin dejarlas perfectamente lisas; y aquellos deben estar montados de modo que, al encontrar una resistencia demasiado considerable, se rompa un órgano poco importante de los que sostienen la herramienta, para que no padezcan ésta ni el objeto que se trabaja.

Los alisadores pueden ser horizontales y verticales, según la posición de su eje. Los primeros se emplean para cilindros largos y de poco diámetro, que se hacen descansar á lo largo de una generatriz; los verticales, al contrario, se usan para cilindros de poca longitud y diámetro grande, pues si éstos se colocasen sobre una generatriz, podrían aplanarse por la acción de su propio peso, aunque estuvieran interiormente bien calibrados, ó en virtud de su poca estabilidad mo-

verse durante la operación, alterándose el calibre interior, defecto de consideración cuando se trate de objetos que necesiten tener secciones rectas constantes, como cuerpos de bomba y cilindros de máquinas de vapor. Los alisadores verticales tienen los inconvenientes de dificultar la colocación de las piezas hasta hacer coincidir sus ejes con el de la máquina, y de no asegurar tan bien como los horizontales la inmovilidad del objeto que se quiere alisar.

La velocidad que parece convenir á estas máquinas es algo menor que la de los tornos. El trabajo se suele pagar por metro lineal.

Acepilladura.—La operación de *acepillar* tiene por objeto principal alisar superficies planas y de gran extensión. Puede verificarse á mano con cinceles y limas, pero se prefiere muchas veces emplear máquinas. Éstas afectan formas muy diversas, pudiendo dividirse en dos grupos: las primeras conservan fijo el objeto, teniendo en movimiento el operador, y las segundas son de plataforma móvil y en ellas la herramienta permanece fija. En ambos casos debe tener la máquina medios de aproximar el operador á la pieza y hacer ocupar á ésta ó á aquel las posiciones necesarias para que el trabajo pueda efectuarse en toda la extensión de la superficie que se ha de acepillar. Se consideran más perfectas las máquinas de plataforma móvil, porque en ellas queda la herramienta muy sujeta y puede funcionar mejor. El movimiento de la plataforma se consigue generalmente con barras dentadas y engranajes; la pieza que se trabaja se fija con algunos pasadores que se introducen en orificios á propósito practicados en la plataforma, cuidando de colocar bien la cara sobre que han de actuar los operadores. Éstos, que son parecidos á los cortafríos, van montados en cajas, que pueden moverse y situarse en la posición que convenga. Después de haber marchado la plataforma ó el operador en un sentido, levantando una cinta de metal, debe tener también la máquina medios de hacerlos retroceder, para poder continuar el trabajo. Con objeto de no perder tiempo en esta operación, durante la cual las herramientas no actúan, se procura que el retroceso se haga con bastante velocidad: hay máquinas en que el operador puede girar para trabajar en dirección inversa, pero lo que parece preferible es colocar dos herramientas que trabajen en sentidos opuestos, una á la ida y otra á la vuelta, pues cuando un mismo instrumento funciona en ambas direcciones, no queda tan seguro como conviene.

Hay máquinas de acepillar de tamaños muy diferentes: el trabajo suele pagarse por metro cuadrado de superficie acepillada. Estos aparatos se aplican, en el servicio de obras públicas, á labrar dovelas de hierro fundido, y á hacer bien planas las superficies de las placas de asiento, que sirven para transmitir á los apoyos de un puente ó de un viaducto los empujes de las vigas metálicas.

Perforación.—Las máquinas de *perforar* tienen por objeto practicar agujeros. Los operadores van montados en el extremo de una barra, que recibe un movimiento de rotación por medios análogos á los ya explicados, y otro longitudinal que se obtiene á mano ó con las mismas máquinas, que son, por otra parte, bastante variadas en su forma y disposición. Como tienen mucha importancia, conviene describir uno de los tipos más perfeccionados, que es el representado en la figura 250, y que tiene gran analogía con la perforadora que se dió á conocer para trabajar en madera. El aparato, como todas las herramientas mecánicas, está cimentado en el suelo del taller, de suerte que no tenga el menor movimiento; el operador va unido á un fuerte montante de hierro colado, cuya forma se aproxima á la de un sólido de igual resistencia. Á la derecha de la figura hay una polea de varias gargantas, arrollándose la correa de transmisión á la que convenga, según la magnitud del agujero y la dureza del objeto que se haya de perforar. El movimiento de rotación del eje horizontal, se transmite por dos ruedas cónicas al vástago que lleva la broca. La rueda que hace mover al vástago, está unida á él por una ensambladura de ranura y lengüeta, de suerte que la herramienta pueda subir ó bajar sin que se suspenda el giro; el movimiento vertical lo regula el operario, dando vueltas á la rueda dibujada en la parte superior, que hace girar al tornillo y produce el avance, haciendo que descienda muy poco á poco, cuando quiera producir la perforación sin gran resistencia: claro es, por otra parte, que el movimiento vertical pudiera también efectuarse mecánicamente. El árbol horizontal lleva un pasador, que, cuando se descorre, desconecta el eje y las poleas, maniobra que hay que verificar cuando se ha practicado el agujero; entonces se hace subir con rapidez el vástago vertical, se coloca en la plataforma la pieza que haya de someterse á la acción de la perforadora, se establece de nuevo la conexión y se repiten las operaciones. Hay también aparatos en que la herramienta puede cambiar de posi-

ción sin mover las piezas, y otros que llevan varios operadores para hacer algunos taladros á la vez.

Las brocas que suelen usarse en estas máquinas, son parecidas á las del berbiquí, como indica la figura 251; conviene humedecerlas con aceite ó agua de jabón para perforar piezas de hierro dulce. Generalmente acompañan á estas máquinas unas tijeras, semejantes á las que se describirán en el artículo siguiente. Antes de colocar las piezas en la plataforma que las recibe, han debido marcarse los puntos en que se han de hacer los taladros, poniendo los objetos en la posición conveniente para que salgan aquellos bien hechos y en su sitio. El pago de este trabajo se efectúa comúnmente por el número de agujeros abiertos.

Fabricación de tuercas y tornillos.—Para hacer á máquina las tuercas ó tornillos, se coloca un macho ó la barra en que se va á labrar el filete, en el extremo de un árbol horizontal (como indica el croquis dibujado en la figura 252), montado en dos apoyos y susceptible de un movimiento de rotación sobre su eje y otro longitudinal. Á otro montante colocado en prolongación de este eje, se sujetan respectivamente la pieza en que se quiere abrir una tuerca ó la terraja y, haciendo avanzar el árbol con precaución, se labran las tuercas ó tornillos. Se preparan también tornillos con tornos perfeccionados, en cuya descripción no se entrará.

Este trabajo se paga ordinariamente por piezas, variando el precio con las dimensiones de aquellas.

Escopleadura.—La operación de *escoplear* consiste en practicar taladros ó cajas de gran tamaño, y se hace con máquinas parecidas á las de perforar, pero con herramientas á propósito. Puede trabajarse también así el interior de los cilindros, actuando en el sentido de las generatrices, con operadores muy estrechos ó curvos, en vez de hacerlo en dirección de las secciones circulares, como con los alisadores.

Estas máquinas, que se usan poco, llevan una plataforma que sostiene las piezas que se trabajan y las coloca en la posición adecuada. La plataforma puede recibir tres movimientos, uno de rotación y dos de traslación en sentidos perpendiculares: uno de estos últimos casi siempre se verifica á mano, y todos concurren á presentar bien el objeto á la acción de los operadores, que están animados de

un movimiento rectilíneo, alternativo y vertical. Se hacen asimismo máquinas de escoplear en que la pieza está sólidamente fija, y el cincel tiene un movimiento de vaivén en sentido de la profundidad de la caja ó del taladro, y otro de traslación.

Ajuste.—La última operación se reduce á quitar á mano las pequeñas desigualdades que puedan aún presentar las piezas, empleando para ello cinceles anchos ó estrechos, martillos, limas y demás herramientas análogas. Al mismo tiempo, se van colocando las piezas que hayan de estar en contacto, en la posición que deban tener, para ver si ajustan con perfección. Si esto sucede, se marcan ó numeran para no dudar después acerca del sitio que corresponde á cada una, y en caso contrario, se quitan los defectos que tengan hasta conseguir que ajusten como es debido.

Talleres de armar.—En los talleres de armar ha de haber también algunas de las máquinas que se han indicado, á más de las grúas ó tornos indispensables y de fraguas portátiles, por si se necesita retocar alguna pieza al tiempo de reunirlas todas para constituir la máquina ó construcción de que se trate: pero estas operaciones se refieren especialmente á la ejecución de obras de hierro, puesto que las piezas quedan ya con la forma que se requiere para poderlas emplear.

TRABAJO DEL PALASTRO.

Generalidades.—La importancia extraordinaria del palastro en las construcciones, justifica el que se consagre un artículo especial á la explicación de las operaciones de *caldereria gruesa*, á que hay que someter, hasta colocarlas en obra, las planchas que se encuentran en el comercio; para los demás hierros basta lo que se ha indicado anteriormente, pero respecto del palastro, es oportuno entrar en algunos detalles.

El espesor de las hojas de hierro varía generalmente de $\frac{1}{4}$ de milímetro á 20 milímetros. Las más delgadas, cuyo espesor es menor de 2 milímetros, se trabajan en frío; las que tienen de 2 á 4, unas veces se trabajan en frío y otras en caliente, y las de mayor grueso, casi siempre en caliente. El grueso se mide con un *calibrador*, que es análogo al instrumento de igual nombre que se usa pa-

ra determinar el diámetro de los alambres; la figura 255 representa el calibrador inglés, que comprende 26 mortajas; la última tiene el calibre de $0^{mm},55$, y la núm. 1 el de $7^{mm},75$, pero se hacen también placas de espesor mayor, que llegan hasta $15^{mm},90$ para calderas de grandes dimensiones, y piezas que hayan de tener mucha resistencia (1).

Las formas que ordinariamente afecta el palastro en las construcciones, son: *planas, cilíndricas, cónicas* ó *esféricas*. La forma plana se le da sin dificultad, golpeándolo con mazas muy anchas, sobre planchas ó yunques grandes y perfectamente lisos, ó bien haciéndole pasar por laminadores especiales; la cilíndrica se obtiene por medio de rodillos, como más adelante se explicará; pero para las formas cónica y esférica, es preciso amoldarlo, por decirlo así, á superficies á propósito, obligándole á doblarse por compresión, y claro es que para que adquiera bien dichas formas, será preciso que no sea demasiado grueso, y que la curvatura que se le haga tomar no sea muy grande, debiendo dejarle bastante tiempo en esta clase de prensas ó moldes, para que al sacarlo conserve la encorvadura que se le haya dado. Es evidente, por otra parte, que las hojas de palastro no pueden adaptarse con exactitud geométrica á superficies que no sean desarrollables: cuando los moldes estén limitados por superficies alabeadas ó no regladas, únicamente podrá lograrse hacer tomar á la plancha formas poliédricas ó desarrollables, que se aproximen lo posible á aquellas.

Las operaciones que se suelen ejecutar con las hojas de palastro, pueden reducirse á las siete que siguen: trazar el contorno de las hojas y marcar la posición de los roblones, cortar las hojas, taladrarlas, caldearlas, cimbrarlas ó encorvarlas, coserlas ó roblarlas, y por fin, retundir las juntas y chaflanar las aristas.

Trazado del contorno de las hojas y señalamiento de los orificios que han de ocupar los roblones.—La primera operación se reduce á trazar y señalar en las hojas de palastro el contorno de la forma que deban afectar, lo cual se verifica, si son planas, con el puntero, la regla y el compás, procurando desperdiciar la menor parte posible de las hojas; si las superficies han de ser desarrollables, se aplican plantillas de zinc, iguales al desarrollo de aquellas; y para las demás formas, se usan patrones pequeños, que correspondan á las caras del poliedro con que se reemplaza la superficie, ó no se hace más que fijar la posición de los puntos principales.

(1) Hay palastros hasta de 0m,16 ó 0m,20 de grueso, que sirven para blindajes de buques y fortificaciones; en las construcciones civiles, puede decirse que no se usan más palastros que aquellos cuyo espesor varía de 16 milímetros á 1mm,5; las chapas de menor grueso se aplican á la fabricación de hoja de lata, de placas galvanizadas, etc.

Se señala el centro de los roblones, abriendo con el punzón un agujero de un milímetro de diámetro: el tamaño de aquellos y su distancia ya se suponen determinados, siendo el diámetro, por término medio, doble del espesor del palastro, y la distancia de los centros igual á dos y media ó tres veces dicho diámetro.

Corte de las hojas.—Esta operación se verifica con *tijeras* ó *cizallas,* con *máquinas de acepillar* ó con *máquinas de escoplear*. Las primeras son las que se usan con más frecuencia, pues aunque las otras, en muchos casos, pueden dar buenos resultados, suelen ser de acción más lenta, y exigen casi siempre preparaciones preliminares en el palastro, como la de perforar ó estriar el contorno de las hojas para facilitar la acción de las herramientas.

Corte con cizallas.—Las cizallas que se emplean para el trabajo de los palastros son *sencillas* ó *de mano*, ó *mecánicas*.

Las primeras (figs. 254 y 255) tienen la forma de las tijeras ordinarias y pueden ser de brazos desiguales, como la representada en el segundo dibujo, para fijar el más largo de aquellos en el banco; las cizallas de mano se usan principalmente por los hojalateros.

Las mecánicas se mueven de ordinario, por la acción directa ó indirecta del vapor; ofrecen dos tipos principales: las *de acción intermitente*, y las *circulares* ó *de acción continua*.

Las más comunes de acción intermitente, se reducen (fig. 256) á dos láminas gruesas de acero, una fija, *B*, y otra móvil, *A*, entre las cuales se aplica al palastro que hay que cortar; la parte móvil gira alrededor de un eje horizontal unido á la mandíbula inferior, y termina en una palanca larga de hierro, *AC*, que se mueve por un excéntrico, *DE*, cuyo eje de rotación, *R*, recibe la impulsión de una máquina de vapor ó de una rueda hidráulica; el movimiento puede también transmitirse por bielas y manivelas y por otros medios. Excusado es decir que la hoja fija está invariablemente unida á un

sólido apoyo de hierro colado, empotrado en un macizo de fábrica.

Por lo general, las láminas cortantes se colocan perpendicularmente al eje de la palanca, como en las tijeras de mano; pero otras veces son paralelas al mismo, como sucede en las tenazas, y en este caso, actuando las cuchillas de una sola vez ó en un corto espacio de tiempo, necesitan mucha más fuerza y casi siempre se mueven por el vapor. Un ejemplo de esta disposición se ve en la cizalla representada en la figura 237, que es muy á propósito para la construcción de calderas y vigas. Consta de un macizo sólido y bien cimentado, de hierro fundido: en el eje motor van montados un volante para regularizar el movimiento, una polea de transmisión y otra loca, y una rueda dentada, que engrana con otra, cuyo eje atraviesa el macizo de hierro y termina en un excéntrico; éste comunica un movimiento alternativo vertical á una biela, que lleva en su extremo una masa de hierro fundido, á la que se fija la cuchilla móvil, cortada en bisel y de hoja algo inclinada, á fin de que no actúe á la vez en toda su extensión. La cuchilla inferior es una lámina de bisel horizontal, á la que se aplica el palastro que se va á cortar. Una palanca, que maneja el operario encargado de dirigir el trabajo, permite sostener la pieza de hierro fundido que lleva la hoja, y limitar su descenso á la altura suficiente para que no toque al palastro hasta que se haya colocado con exactitud en la posición que deba tener; mientras tanto, la biela y la manivela se mueven sin que actúe el operador. Cuando se han de cortar hierros de ángulo ó escuadras, se cambian las cuchillas por otras de perfil adecuado; la inferior presenta entonces un ángulo entrante en que se apoya la escuadra, y la superior tiene un perfil inverso, esto es, un ángulo saliente.

Las cizallas de acción intermitente, ya sean de uno ú otro de los géneros que se han descrito, dan bastante buen resultado, particularmente cuando se ha de cortar en línea recta; pero para seguir una línea curva, ó para trabajar con continuidad, se prefieren las tijeras circulares, que se reducen (fig. 238) á dos discos de acero, montados en dos ejes animados de movimientos de rotación muy rápidos, iguales y en sentido contrario. Los ejes comunican entre sí por engranajes, y se ponen en movimiento, bien por una manivela aplicada directamente á uno de ellos, bien por una combinación de ejes y ruedas, según el espesor de las hojas que haya de cortar la máquina.

Los discos se ponen en contacto, haciendo mover el tornillo *D*, y su espesor, así como la parte en que deban cruzarse (que se puede regular con el tornillo *C*), dependen del grueso del palastro. Éste se coloca en una plataforma, que se mueve á mano ó por la misma máquina, para presentar la hoja por punto á propósito á la acción de los cilindros.

Ya se ha visto también que existen otras tijeras, las de guillotina, capaces de cortar de un solo golpe láminas de dimensiones considerables, pero su aplicación suele limitarse á la fabricación de palastros y no á darles la forma en que se han de emplear.

En los grandes talleres van unidas comúnmente en la misma máquina las cizallas y los sacabocados para practicar los agujeros de los roblones.

Corte con máquinas de acepillar.—Las que se emplean para esta operación, suelen ser de cuchillo móvil; las hojas se sujetan bien á la plataforma, y si son delgadas, pueden cortarse muchas de una vez. Se aplican con buen éxito á hojas muy largas, sirviendo asimismo para cortarlas en bisel ó chaflanarlas.

Corte con máquinas de escoplear.—Se usan para cortar los palastros que han de tener formas variadas en su contorno, lo cual haría de aplicación difícil los medios anteriormente expuestos. Para emplear las máquinas de escoplear se sujetan bien las hojas, y se practica, siguiendo el contorno, una serie de orificios (fig. 239); después se cortan las partes que quedan entre los agujeros con la máquina de escoplear y operadores á propósito, hasta dejar los bordes como se ve en la figura 240, terminándose luego las piezas por medio de diversas herramientas. Por lo general, se empieza por descargar las partes salientes con un operador redondeado, de suerte que quede el borde, como indica la figura 241; después se regulariza con una herramienta plana y, por último, se perfila y pule con la lima. El procedimiento referido puede aplicarse cuando haya necesidad de preparar varias láminas iguales.

Taladros.—La tercera operación tiene por objeto practicar los taladros en los sitios ya señalados, dándoles el diámetro que les corresponda. Ordinariamente no se taladran antes del cimbreo más que los agujeros de una de las hojas que han de estar en contacto, abriéndose después los de la segunda, sirviendo de patrón la primera. Las

máquinas que se emplean para este trabajo, afectan una disposición parecida á la de las cizallas de cuchillas paralelas al eje de rotación, sólo que en vez de láminas cortantes llevan en la parte fija una *matriz,* en la que se coloca una pieza de acero, ligeramente curva en la parte superior y con un agujero vertical de forma cónica para dejar pasar por el centro el pedazo de palastro desprendido; y en la parte móvil un punzón ó sacabocados de diámetro igual al del taladro que se quiere practicar, de longitud algo mayor que el espesor del palastro y guiado de modo que no tenga más que un movimiento vertical. Como estos taladros se hacen por presión y no como en las máquinas de perforar, en que la herramienta obra girando y comprimiendo á la vez, resulta que el punzón debe ser muy sólido, y que para trabajar en buenas condiciones, el diámetro de los agujeros no ha de exceder mucho del espesor del palastro, si éste es algo grueso; cuando el espesor de las planchas llega á 15 milímetros, cuesta mucho trabajo hacer los taladros y se estropean bastantes punzones.

El palastro se coloca encima de la matriz, de suerte que la vertical del punto en que se haya de practicar el orificio, coincida exactamente con el eje del punzón, y en seguida se hace descender éste. Después de abierto el taladro, á fin de que al retroceder el operador no levante consigo la hoja, se coloca para contenerla un tope ú horquilla en el bastidor de la máquina, á no ser que, como en otros aparatos, el sacabocados actúe dentro de un cilindro hueco que desciende primero, para apoyarse en el palastro, y se levanta después que la herramienta, sujetando hasta entonces las hojas. Para detener el sacabocados con rapidez, por estar mal colocado el palastro ó por cualquiera otra causa, en vez de fijarlo directamente á la biela ó á las guías, se le deja cierto huelgo, con objeto de poder introducir una cuña, que cuando está colocada, permite funcionar á la máquina; pero cuando se quita, en el instante que tropieza el extremo del punzón con el palastro, se mete dentro de las guías ó sigue sólo el movimiento de la biela sin oprimir casi las hojas. Aunque es algo difícil y delicado, pueden disponerse las máquinas de modo que el palastro, colocado en un bastidor, vaya presentando los diferentes puntos en que se han de abrir los taladros á la acción del punzón, pero, por lo general, este trabajo se verifica á mano. Los aparatos pueden moverse á brazo ó por medio del vapor y con un movimiento intermitente ó continuo. La figura 242 representa una herramienta para taladrar, movida á vapor, cuya semejanza con las cizallas de la figura 237 es bien manifiesta: la máquina lleva dos poleas, una motriz y otra loca; en el eje común á ambas va un piñón, que engrana con una rueda dentada, cuyo árbol atraviesa el macizo de hierro colado y termina en un excéntrico, del cual está suspendido el punzón y la masa de hierro que lo rodea. El excéntrico comunica al sacabocados un movimiento alternativo vertical, que se puede limitar ó darle toda su amplitud, actuando en una palanca. Al macizo de hierro está fija la matriz de acero, sobre la cual se ve en la figura una pieza que da paso al punzón, pero que sirve de tope para detener la hoja de palastro, si la arrastra consigo el operador al elevarse, después de hecho el taladro. El tope tiene otra forma en algunas máquinas; en la figura 243, *M* representa la matriz, algo curva en la parte superior y con un taladro ensanchado por abajo para dar paso al anillo metálico que se desprende de la plancha, *P; S* es el sacabocados con su envolvente de hierro, y *T*, una horquilla de palastro delgado, encorvada y que se fija á la máquina, permitiendo el paso al punzón, pero deteniendo á la plancha si se eleva con aquel.

Hay también aparatos especiales, en cuya descripción no se entrará, para abrir agujeros en el borde de una hoja encorvada en forma cilíndrica, que hayan de corresponderse con los ya abiertos en el opuesto.

Según se indicó, es muy común que en el mismo apoyo estén montados el punzón y las cizallas. La figura 244 muestra una perspectiva de esta disposición, que se comprenderá perfectamente después de las explicaciones que preceden.

Calda de las hojas.—Tiene por objeto calentar las hojas de palastro cuando son algo gruesas, para que puedan sufrir con facilidad las operaciones que siguen. Se verifica de ordinario en hornos sencillos (fig. 245), parecidos á los de caldear el hierro forjado, y que se reducen á una cámara de poca altura y de la extensión suficiente para que quepan las láminas. La plaza de estos hornos es una placa de hierro colado ó una bóveda de ladrillo cubierta de arena y en la que se disponen cuatro ó cinco barras de hierro, sobre las que se coloca el palastro: el hogar, *F*, se halla situado en un extremo de la cámara, y los productos de la combustión, después de recorrerla

en toda su longitud, pasan por dos conductos laterales. *C*, á las chimeneas, *D*, disposición que se adopta para evitar el enfriamiento de las paredes. La colocación y extracción de los palastros, se hace por la puerta *P*.

Cimbreo ó encorvadura.—El cimbreo de los palastros para darles la curvatura que hayan de presentar, se hace en frío ó en caliente, según su espesor. Como generalmente se emplean las planchas en las obras de importancia, en formas planas ó cilíndricas, bastará indicar los aparatos que se usan para preparar cilindros, puesto que se ha explicado ya el modo de aplanar las hojas.

Encorvadura en caliente.—Antiguamente, aun en trabajos de calderería gruesa, se verificaba la encorvadura en caliente, empleando un rodillo de hierro fundido, *A* (fig. 246), terminado en dos gorrones, que podían girar, apoyándose en cojinetes dispuestos en los extremos de dos ménsulas de hierro forjado, sólidamente empotradas en un muro distante unos $0^{m},10$ de la superficie del rodillo. Se colocaba la hoja de palastro entre la pared y el cilindro, y, por medio de palancas de hierro, *B*, móviles alrededor de charnelas empotradas también en el muro, y en las que actuaban los operarios, ya con cuerdas, ya con el peso de sus propios cuerpos, se conseguía que se doblase el palastro y que afectara la forma que representa la figura. Hecho esto, se levantaban las palancas, se hacía bajar la hoja una cantidad suficiente y se empezaba de nuevo la operación hasta que aquella quedaba casi redonda. La encorvadura se concluía con martillos, y siempre en caliente, en caballetes de hierro de gran longitud.

La máquina más perfecta para encorvar palastros es la de Lemaître, que no es necesario dibujar para que se comprenda bien cómo funciona. El aparato se compone: 1.°, de dos montantes de hierro colado, que llevan cojinetes, en los que se mueven los gorrones del cilindro á que se han de arrollar las hojas; uno de los montantes sirve á la vez de apoyo á los engranajes que comunican el movimiento: 2.°, de un cilindro, también de hierro fundido, un poco más largo que las piezas que haya que encorvar y de la misma sección recta con que deban quedar éstas: 3.°, de una barra rectangular de hierro, situada debajo del cilindro, y unida á sus extremos por estribos y tornillos; entre la barra y el rodillo se dispone la hoja, fijándola con solidez, por medio de las mismas piezas que se han indicado: 4.°, de

otro cilindro de hierro colado paralelo al primero, y sostenido por dos cremalleras verticales, situadas cerca de los montantes, y de tal suerte, que los ejes de ambos rodillos no estén en un mismo plano vertical. Las cremalleras se mueven con palancas dentadas, que se manejan á brazo, y sirven para acercar ó separar el cilindro inferior del superior, según convenga. El borde de la hoja se introduce entre el rodillo, que va á servir de molde, y la barra, uniéndola como antes se dijo; se mueven las palancas hasta que el cilindro inferior oprima con fuerza á la plancha, obligándola á aplicarse al patrón; se fijan entonces las palancas y se pone en movimiento la máquina, que va plegando la hoja con la curvatura del cilindro móvil. Cuando en virtud del movimiento, se ha doblado la hoja en todo su ancho, se para la máquina, se baja el rodillo, se aflojan los tornillos que unen la barra, se saca la pieza, y se procede á una nueva operación. De este modo, el palastro toma exactamente la forma del molde á que se aplica, y por tanto, es preciso cambiar el cilindro, siempre que varíe la curvatura que se quiera dar á las hojas.

Encorvadura en frío.—El inconveniente expresado desaparece en el aparato de Derosne y Cail, con el que es factible encorvar en frío palastros de 10 á 12 milímetros de espesor, y del que se representa un corte transversal, en la figura 247. Se compone de tres cilindros, *a*, *b* y *c*, de hierro fundido, montados en gorrones de hierro; los de los dos primeros se apoyan en cojinetes ajustados en los montantes *K*. El cilindro superior puede subir ó bajar, como los cilindros de los laminadores, por medio de un tornillo *e*; la posición de este cilindro es la que determina el radio de la curvatura que se obtiene, porque el palastro comprimido por los tres rodillos, se encorvará tanto más, cuanto más próximo esté el *a* á los otros dos. Si, por ejemplo, estuviese bastante elevado para que el palastro pudiera pasar sin comprimirse, claro es que no se encorvaría la lámina; si, por el contrario, estuviera lo más bajo posible, la hoja adquiriría exactamente la curvatura del cilindro *a*; de donde se deduce que la encorvadura que se puede producir tiene por límite superior la que corresponda á aquel rodillo. Los dos cilindros *b* y *c* llevan cada uno una rueda dentada, que engrana con el piñón *d*, cuyo eje atraviesa al aparato en toda su longitud; de este modo giran ambos en el mismo sentido, y una vez cogida la plancha, tiene que pasar y cimbrarse. El piñón va en el mismo árbol

que la rueda *f*, que engrana con otro piñón *g*, montado en el eje de la polea de transmisión, *h*.

Muchos otros aparatos se han ideado para encorvar las láminas, pero el anterior es el que parece que produce mejores resultados.

Fabricación de roblones.—Los *roblones* ó *redoblones* son pequeños cilindros de hierro, provistos de una cabeza redondeada (fig. 248), con los que se unen, *cosen* ó *roblan* los palastros. Para su fabricación se emplean muchas clases de máquinas, aunque el trabajo á mano, si los operarios están bastante ejercitados, es suficiente y se prefiere en la generalidad de los casos; pero puede haber economía en el empleo de máquinas, si hay que fabricar muchos roblones y de una manera rápida y continua.

Fabricación á mano.—La fabricación á mano se verifica cortando primero las barras en trozos de la longitud necesaria. Esta operación se ejecuta sobre una bigornia (fig. 249), que lleva dos piezas, *A* y *B*, fijas á la distancia conveniente; se coloca la barra, *C*, de modo que su extremo toque á la pieza *B*, y dando un martillazo en la parte de la barra que está sobre *A*, se produce una hendedura, pudiendo acabar de cortarla en el acto ó seguir del mismo modo señalando los puntos en que se han de dar los cortes; en este último caso, es preciso que el tope, *B*, esté dispuesto de tal modo que no impida el avance de la barra. Después de troceada ésta, se puede usar el aparato dibujado en la figura 250, que se compone de una masa de hierro fundido, de $0^{m},60$ á $0^{m},70$ de altura, hueca en el centro y que presenta en su parte superior la forma de un yunque ordinario, mientras que el extremo inferior se empotra en una basa de madera. El hueco interior lo ocupan la matriz ó clavera, en que se coloca la barra con que se ha de formar el roblón; una barreta de hierro que se apoya por abajo en el basamento del yunque, que sirve de *botador* para sacar los roblones, y cuya longitud depende de la de éstos; y una palanca, que tiene su punto de apoyo en el mismo yunque, y que se introduce en una abertura practicada en la barreta. Después de haber estampado la cabeza del roblón, de la manera ordinaria, basta mover la palanca para que salga de la clavera. Cambiando la matriz y el botador, se pueden fabricar roblones de diversos diámetros y magnitudes: este aparato se utiliza también para construir pernos ó pasadores.

Fabricación mecánica.—Las máquinas más sencillas y á propósito para este objeto, son parecidas á las de taladrar, sustituyendo la matriz inferior por otra que pueda contener el roblón que se va á trabajar, y el punzón por una estampa con la figura que deba tener la cabeza. Después de haber cortado barras del diámetro necesario, en fragmentos de la longitud que corresponda, por medio de cizallas movidas ordinariamente por la misma máquina, se coloca enrojecido uno de los trozos en la matriz, y haciendo descender la estampa se forma la cabeza. Cuando se eleva el operador, se mueve, bien á mano, bien por medio de la misma máquina, una palanca colocada en la parte inferior y terminada en un botador que, penetrando en la clavera, hace saltar el redoblón formado. El tiempo que permanece elevada la estampa debe ser suficiente para dar lugar á que se efectúe esta última operación, y á que se pueda colocar otra barra; con este fin, y para trabajar con rapidez, se han ideado máquinas que tienen diez ó doce matrices, situadas en una plataforma circular, animada de un movimiento de rotación, que va presentando sucesivamente cada matriz á la acción de la estampa. La figura 251 representa el croquis de la máquina de Lemaître, que pertenece á este último género: *A*, es un cilindro de vapor; *B*, la palanca que mueve la estampa *C; D*, una clavera circular móvil, con diez ó doce orificios, que se llena de agua para que no se caldee; *E*, otra palanca, que recibe su movimiento de la *B* y hace saltar el roblón estampado. La plataforma se mueve á mano, pero hay aparatos más perfeccionados, como el de Gouin, en que la rotación se produce mecánicamente.

Otra máquina ingeniosa es la de Bergue y Compañía, de Manchester, que llamó la atención en la Exposición universal de Londres de 1862. No se describirá con detalle, pero sí conviene conocer el principio que la caracteriza, que es el movimiento de rotación de que están animadas las piezas principales. El disco de hierro colado, *k* (fig. 252), que lleva 8 matrices, está montado en el extremo de un árbol horizontal y giratorio; al paso que la estampa, *u*, que ha de formar la cabeza de los roblones, se apoya en una varilla *x*, que se rompe si se presenta alguna resistencia que no pueda vencer la máquina, y va unida á una biela de hierro fundido, *h*, dirigida por el excéntrico de otro árbol horizontal, *g*. Los engranajes están dispues-

tos de suerte que la biela hace ocho excursiones, por vuelta completa del disco, y en cada movimiento alternativo se forma la cabeza de un roblón. En el momento que la estampa empieza á actuar sobre el hierro colocado en la matriz, el excéntrico se halla muy próximo al final de su excursión, y como el extremo de la biela está guiado de manera que en ese instante se mueva la estampa en dirección del radio del disco, resulta que en el tiempo que se tarda en hacer la cabeza del roblón, la matriz y la estampa tienen movimientos combinados, de modo que los ejes de la biela y de la matriz están casi en línea recta, acercándose primero y separándose después; en tales condiciones, la acción se produce como si la estampa no tuviese más que un movimiento rectilíneo y estuviera fijo el disco. En el interior de éste hay una corona excéntrica, *t*, cuyo objeto es detener al tope *m*, en que se apoya el roblón, cuando se efectúa la estampación, y rechazarlo en el momento que se retira la biela. No hay para qué decir que el aparato de Bergue lleva unas cizallas que cortan las barras en trozos de longitud adecuada, antes de colocarlas en la matriz.

Cosido ó robladura de las hojas.—Las hojas de palastro se unen por medio de roblones; pero como no corresponde á esta obra el estudio de las formas en que conviene coserlas, sólo se indicará que, por lo general, se coloca una placa sobre otra, haciendo coincidir los agujeros de los roblones, situados en una ó dos filas (fig. 253), ó bien se unen al tope, por intermedio de una ó dos planchas ó *cubrejuntas*, provistas también de agujeros para la colocación de los pasadores (fig. 254). Á veces la robladura se hace interponiendo piezas de ángulo ú otras especiales, y la figura 255 ofrece un ejemplo; pero hay otras muchas disposiciones que no pueden examinarse en este sitio.

Robladura á mano.—El cosido de las hojas se efectúa frecuentemente á mano, y así hay que colocar siempre muchos roblones, para terminar las piezas complicadas ó de grandes dimensiones, y para las reparaciones y otros trabajos análogos. La operación se reduce á calentar los roblones, de ordinario en fraguas portátiles, y hallándose dispuestas ya las hojas de modo que coincidan los agujeros respectivos, introducir los pasadores por las aberturas en que se han de colocar, golpeando, si es necesario, sobre la cabeza ya formada; se sujeta entonces ésta con martillos ó mazos apoyados

sólidamente en puntos fijos, y se forma la segunda cabeza con una estampa, que se conoce con el nombre de *doile;* después se repasa el trabajo y se hacen desaparecer todas las imperfecciones que pueda presentar la cabeza hasta que quede tan acabada como la primera. Al enfriarse el roblón, se acorta y produce una unión perfecta.

Si se quiere que las cabezas queden embutidas en el espesor de las láminas, es preciso que los taladros sean en parte cónicos (figura 256), y una vez remachados los roblones, se hace saltar con cinceles ó cortafríos la parte excedente.

Robladura á máquina.—Las máquinas que suelen emplearse están fundadas absolutamente en el mismo principio que las de taladrar y las de hacer roblones; en todas ellas el operador, sea punzón ó estampa, va montado en un émbolo ó barra rígida, á que se comunica un movimiento alternativo rectilíneo de corta extensión. Desde el punto de vista de disposición y construcción, estas diversas máquinas presentan las diferencias que son inherentes á los trabajos respectivos que han de ejecutar. En los detalles varían muchísimo los aparatos para roblar; con objeto de que se tengan ideas claras acerca de ellos, se describirán dos tipos de los menos parecidos entre sí: la máquina de Gouin y la de Lemaître.

La figura 257 representa un corte longitudinal de la primera, que es de las más sencillas y en la cual el vapor actúa directamente en el operador. La armazón, *a*, de palastro grueso, está unida con pasadores al cimiento de fábrica y enterrada en parte en el suelo; á la derecha se eleva un montante, que recibe la estampa fija, *b*, y en el montante de la izquierda se dispone el cilindro de vapor *cd*. La construcción de éste constituye lo más interesante de la máquina; se compone de dos partes cilíndricas *c* y *d*, cada una de las cuales tiene un émbolo montado en el eje común, en cuyo extremo va la estampa móvil ó doile. Haciendo llegar el vapor al émbolo más grande, la varilla avanza con fuerza y rapidez y se efectúa la robladura; al paso que si se abre el escape correspondiente á este émbolo, y se introduce el vapor en dirección opuesta, haciéndole obrar en el émbolo pequeño, el vástago retrocede hasta su posición primitiva, sin gran consumo de fuerza motriz. El sistema descrito, con más ó menos modificaciones, está muy generalizado, lo que se comprende, por-

que es difícil alcanzar mayor sencillez ni una acción más ventajosa.

La máquina de Lemaître se distingue de las demás en que es de doble acción; la estampación de la cabeza no se efectúa hasta que las dos láminas reunidas se han sujetado á una fuerte compresión. Desde luego se presume, y la práctica lo acredita, que la robladura será tanto más perfecta cuanto más se opriman las láminas, y que la compresión previa y directa ha de ser mucho más enérgica que la producida indirectamente por la cabeza del roblón. El aparato se representa en la figura 258, y consta de una armazón, *a*, empotrada en un macizo de sillería, á la que va unido sólidamente el zoquete *b*, que sostiene la estampa fija á que se aplica la cabeza inferior del roblón; la misma armazón lleva además los dos cilindros de vapor *c* y *d*, el eje común á las dos palancas *f* y *g*, y las guías del cilindro hueco *e*, que es el que ejerce la compresión previa de las hojas, y que está articulado en el brazo menor de la palanca *f*; por último, la estampa móvil va debajo de un cilindro macizo, que se mueve dentro del hueco, y que se articula en el extremo de la otra palanca, *g*. Con esta disposición si se da vapor al cilindro *d*, funciona la palanca *f*, baja la pieza *e*, y oprime las hojas colocadas de antemano en la matriz ó estampa fija; inmediatamente se introduce vapor en *c*, y la palanca *g* obliga á descender al doile, que forma la cabeza. Abriendo luego los escapes correspondientes á ambos cilindros, vuelve la máquina á su posición primitiva y comienzan de nuevo las operaciones para estampar otro roblón ó para que reciba el anterior más golpes, si, á consecuencia del espesor de las láminas, los necesitase.

En algunos aparatos, las hojas pueden moverse mecánicamente, pero se usan poco, porque son demasiado complicados. Es muy frecuente que la misma máquina se aproveche para roblar y para taladrar, cambiando las matrices y los operadores; para emplear la de Lemaître en hacer taladros, puede adaptarse un punzón al cilindro movido por la segunda palanca.

Calafateo y retundido de juntas.—La última operación que se ejecuta con los palastros consiste en *calafatear* y *retundir* las juntas, trabajos que no siempre hay que efectuar, y que tienen por objeto hacer impermeables las uniones, y regularizar y dejar bien terminada la obra; deben hacerse con mucho esmero, particularmente cuando los hierros han de estar sometidos á fuertes presiones, como en las calderas de las máquinas de vapor. Por lo general, estas operaciones se practican á mano, y la substancia que ha de servir para hacer impermeables las juntas, que de ordinario es estopa impregnada de algún betún, se introduce en las uniones, por medio de punzones muy agudos, que se golpean con martillos. En las obras que no necesiten calafatearse, el trabajo se reduce, cuando más, á repasar la buena posición de los roblones y á chaflanar las aristas de las láminas con cortafríos ó con máquinas de acepillar.

HIERRO FUNDIDO Ó COLADO.

Ya se ha dicho que se entiende por *hierro colado ó fundido*, una composición ó mezcla fusible de hierro y una corta cantidad de carbono, de 2 á 4,5 por 100, y que, según la mayor ó menor proporción de carbono combinado, resultan hierros más ó menos agrios que se conocen con los nombres de *blancos*, *manchados* ó *atruchados* y *grises*.

Fusiones sucesivas.—El hierro fundido puede emplearse tal como resulta de la primera fusión en los hornos altos, ó bien se le somete á una segunda y hasta á una tercera fusión en *cubilotes* ó en hornos reverberos. Con estas nuevas fusiones, el metal adquiere una homogeneidad de que carecía y gana extraordinariamente en condiciones para poder moldearse.

Cubilotes.—Los *cubilotes* son hornos en que se colocan el hierro y el combustible por capas alternas. Se construyen de planchas de palastro ó hierro fundido, revistiéndolos por el interior con una camisa de ladrillos refractarios: entre la cubierta externa y la camisa suele dejarse un espacio que se rellena de materiales malos conductores del calor, para evitar que el horno se deteriore y que experimenten asientos desiguales sus diversas partes.

La solera ó plaza del cubilote está inclinada y se prolonga al exterior formando una canal, por la que corre el metal líquido cuando se sangra el horno una vez terminada la fusión (fig. 259); en la pared opuesta van colocadas dos ó tres toberas, que, dando acceso al aire suministrado por máquinas sopladoras, activan y favorecen la ope-

ración. Los cubilotes afectan, en general, la forma de cilindros, de prismas ó de troncos de cono ó pirámide de poca inclinación; su capacidad varía mucho, según el hierro que hayan de fundir, el aire que se pueda inyectar y el combustible que se emplee. Los que consumen cok deben tener de 2 metros á $5^m,5$ de altura; los de carbón vegetal llegan á medir 4 metros de elevación: el diámetro oscila entre $0^m,60$ y $0^m,80$. Sobre los cubilotes se coloca una especie de campana de chimenea.

HORNOS REVERBEROS.—Se emplean también para la segunda y tercera fusión los reverberos, aunque presentan el inconveniente de blanquear y afinar el hierro; así es que se reservan para cuando se carece de aparatos sopladores, ó cuando las dimensiones de las piezas de hierro que se han de fundir no permiten usar cubilotes.

Cazos.—Al sangrar los cubilotes ú hornos de reverbero para llevar el metal fundido á los moldes, se recoge aquel en *cazos*, cuyo número y dimensiones deben estar en armonía con la naturaleza é importancia de los trabajos. Cuando su tamaño lo hace factible, se transportan directamente los cazos, por uno ó varios operarios, desde los hornos de fusión á los moldes; en caso contrario, se emplean grúas. En un taller de fundición bien montado, debe haber cazos de dimensiones variadas, desde los más pequeños que contienen de 15 á 20 kilogramos de metal y que los maneja un solo hombre, hasta los de 10 ó 12.000 kilogramos de cabida, que exigen para moverlos grúas de mucha fuerza. No es común construir cazos de mayor tamaño; cuando hay que moldear piezas de peso más considerable, se emplean varias vasijas, consiguiéndose así que el hierro fundido se distribuya antes y con más facilidad en el molde, que puede recibir el metal por diversos puntos á la vez.

En las fundiciones antiguas se hacían los cazos de hierro colado y de 8 á 35 milímetros de espesor: en la actualidad se construyen casi siempre de palastro, vistiéndolos interiormente con una capa de arena arcillosa, á que se da consistencia con estiércol de caballo. La figura 260 representa la forma de un cazo, que puede manejar un operario; la 261, la de un cazo de 200 kilogramos de cabida, que se mueve también á brazo; y la de 262 se refiere á una vasija de 1.800 kilogramos, que se transporta con grúa, y está formada por dos envolventes metálicas, que comunican por abajo, de suerte que el hierro colado que llena la capacidad más pequeña, y que es el que se vierte en el molde, no puede arrastrar ninguna de las impurezas que quedan sobrenadando en el cilindro interior. El corte vertical (figura 263), muestra claramente la disposición descrita, que cuando no se adopta, obliga á espumar con frecuencia suma los cazos, para que no penetren en los moldes las substancias extrañas mezcladas con el hierro fundido.

Á los cazos de grandes dimensiones se les da la inclinación conveniente para vaciarlos, introduciendo una palanca de ojo en el eje de suspensión, ó bien por un mecanismo sencillo (fig. 264), que se reduce á un tornillo labrado en el eje de la polea de transmisión, que engrana con una rueda montada en el vástago alrededor del cual ha de girar el cazo. Los de mayor tamaño que se emplean suelen tener un diámetro interior de $1^m,40$ y una profundidad de $1^m,50$.

Métodos de moldeo.—Se siguen cinco métodos distintos para vaciar ó moldear el hierro fundido, que se diferencian en la naturaleza y modo de disponer los moldes. Éstos pueden ser de *arena extendida*, *de arena verde*, de *arena seca*, de *greda* ó *arcilla* y de *hierro colado*, en cuyo orden varía el precio de las piezas preparadas con una misma clase de hierro.

CONDICIONES DE LA ARENA.—La arena que se usa para hacer los moldes en los tres primeros procedimientos, debe ser de granos finos, homogéneos y próximamente de igual tamaño, por cuya razón se criba antes de emplearla. Debe contener, además, cierta cantidad de arcilla, que le comunique la plasticidad y consistencia necesarias para que reciba y conserve las formas que se le den; ha de ser infusible á la temperatura á que la eleva el contacto con el hierro fundido, y es preciso que no se vitrifique ni se adhiera, impidiendo el paso de los gases calientes, que se desprenden durante el trabajo. La arena que reune todas estas cualidades, es muy estimada; para conseguirla es frecuente que se tenga que conducir á las fundiciones desde localidades lejanas.

PRIMER MÉTODO.—*Moldeo en arena extendida.*—La preparación de los moldes de arena extendida no ofrece dificultad alguna: se echa y apisona en el suelo una capa de arena, comprobando con un nivel si la superficie superior es perfectamente horizontal. Suponiendo que se trate de moldear un objeto de forma sencilla, una placa rec-

tangular, por ejemplo, se colocan unos listones de madera, de modo que sus bordes exteriores indiquen el contorno de la plancha; se comprime entonces con fuerza la arena contra la cara exterior de los listones, y quitándolos queda formado el molde, cuyas dimensiones han de ser un poco mayores que las de la placa, para compensar la contracción del hierro al enfriarse, que viene á ser de 1 por 100 en las dimensiones lineales.

Si se tuviera que moldear un objeto de contorno más complicado, ó cuya cara visible hubiese de llevar molduras, adornos ó letras, se señalaría el perímetro con listones ó cerchas, y se imprimirían en la superficie de la arena, las molduras, adornos ó letras, con moldes ó plantillas de madera.

Dispuestos los moldes, se vierte en ellos con cazos el metal derretido, á menos que aquellos fuesen muy grandes y conviniese conducirlo desde el agujero de sangría, por una reguera; se hace que el líquido enrase con los bordes del molde, y se cubre con una capa de 0m,03 á 0m,04 de la misma arena que se empleó antes, á fin de uniformar el enfriamiento y la contracción del hierro, sin lo cual sería muy fácil que se alabease ó rajase el objeto que se fabrica. Cuando está frío el hierro, se quita la arena que lo oculta y se saca la pieza moldeada. Siempre se tienen preparados varios moldes, en los cuales se vierte sucesivamente todo el hierro contenido en el cazo, pues de otro modo habría que volver á fundir el que sobrase, lo que, además de las pérdidas de metal que resultarían por la oxidación, que siempre se produce, ocasionaría un gasto considerable de combustible.

El moldeo en arena extendida tiene el inconveniente de que no puede aplicarse sino á aquellos objetos que no han de tener visible más que la parte que, al llenar el molde, queda en contacto con la arena, que al principio se apisonó ó recibió alguna forma particular, pues la cara superior del objeto, ó sea la del nivel del líquido, resulta siempre muy rugosa y desigual después del enfriamiento. Esta clase de moldes sólo se emplea, por consiguiente, para las piezas que han de tener una cara oculta, como, por ejemplo, los emparrillados de los hogares de las máquinas de vapor.

Segundo método.—*Moldeo en arena verde.*—Se usa para objetos de dimensiones no muy considerables y cuya superficie deba ser

perfectamente lisa. Los *marcos* ó *cajas de moldear* (fig. 265), que son los utensilios principales en este método, constan de dos partes iguales, que se superponen; cada una de ellas está formada por cuatro paredes de tablas de madera ó de placas de hierro fundido. Los bordes superiores de la caja superior y los inferiores de la otra, se unen por dos traveseros que aumentan su solidez; cada marco tiene además dos mangos para levantarlo, y, para asegurar la exactitud del ajuste, lleva dos orejas que se unen á las del otro, por medio de pasadores. Las cajas de hierro tienen la ventaja de que puede hacerse variar su longitud entre ciertos límites, para lo cual las caras están dispuestas de suerte que las transversales ó más pequeñas puedan fijarse á las mayores, dejando entre sí un intervalo de la extensión que convenga.

Además de las cajas, se necesita una plantilla de madera, ó sea una representación exacta del objeto que se quiere vaciar. Supóngase que se trate de obtener un cilindro macizo, terminado en dos rebordes; la plantilla tendrá la misma forma que la pieza que se haya de moldear, como representa el dibujo de la derecha de la figura 266, pero con las creces necesarias, á fin de compensar los efectos de la contracción. Para preparar el molde, se hace descansar la caja inferior en el suelo de la fundición, que generalmente está enarenado; se va echando y apisonando arena en la caja hasta una altura tal que, dejando encima la plantilla, sobresalga la mitad de ésta de los bordes superiores del marco; llegado este punto, se coloca la plantilla y se sigue echando arena y apisonándola contra aquella hasta que enrase con los bordes de la caja; se alisa entonces la superficie con una paleta y se cubre con polvo de carbón humedecido, para que no se peguen las dos superficies que han de estar en contacto; se dispone en seguida la caja superior encima de la inferior, de modo que los bordes de ambas ajusten perfectamente; y se unen las orejas por medio de los pasadores. Fija ya la caja superior, se llena de arena de un modo análogo al que se ha indicado para la inferior, pero antes de que esté cubierta por completo la plantilla, se ponen sobre ella dos palos redondeados y aguzados, que se sacan cuando está llena la caja, haciéndoles girar con suavidad, y así se determinan dos huecos que sirven, el uno, que se llama *bebedero*, para echar por él el hierro fundido, y el otro para dar salida á los gases y conocer cuándo está

lleno el molde. El conjunto queda, por tanto, dispuesto como marca el dibujo de la izquierda de la propia figura 266.

Sigue ahora la maniobra más delicada, que es la de separar los marcos; para llevarla á cabo, dos operarios elevan verticalmente la caja superior y la colocan en el suelo invertida, para que no caiga la arena. En seguida se humedece, para hacerla más compacta, la arena que en la caja inferior rodea á la plantilla, y clavando con cuidado en ésta dos clavos pequeños ó alfileres, se saca imprimiéndole un ligero movimiento. Si en cualquiera de las dos cajas se hubiera desprendido arena, se vuelve á arreglar y á comprimir; se yuxtaponen aquéllas de nuevo, y se vierte el hierro fundido.

Los huecos de los objetos moldeados se obtienen empleando piezas que se construyen aparte de la plantilla y que se llaman *machos, almas* ó *núcleos*. Las plantillas se hacen siempre macizas, pero señalando los huecos con partes salientes, que produzcan en la arena cavidades para alojar los extremos de los machos. Éstos deben construirse con una substancia que resista al calor y presión del metal, pero sin adherirse al hierro fundido para que se puedan sacar fácilmente: además han de ser bastante pesados para que no tiendan á flotar en el líquido; así es que cuando son largos hay que disponerlos en barras de hierro ó en tubos, si su diámetro lo permite. En este último caso, para hacer el macho correspondiente al cilindro hueco que se trata de fundir, se toma un tubo de hierro colado de diámetro menor que el del macho, y que tenga en su superficie muchos agujeros, dispuestos de ordinario en forma de hélice, que tienen por objeto dar salida á los gases; sobre este tubo se arrolla una trenza de heno húmedo y se cubre todo con una capa de greda mezclada con yeso y pelo para darle más consistencia. El macho recibe la forma cilíndrica haciéndole girar por medio de una manivela, de suerte que enrase con una regla fija. Después, se llevan los machos á una estufa, donde se secan, colocándolos en filas y superpuestos; una vez secos, se acaban de perfilar con un cuchillo ó una lima y se ennegrecen con carbón desleido en agua, volviéndolos á secar. Para hacer uso de un macho, se cortan sus extremos hasta que se adapten en las cavidades practicadas en la arena por la plantilla: colocado ya el macho, que queda en la forma que se ve en la figura 267, se vierte el hierro fundido, se vitrifica la greda y se quema el heno, de mo-

do que se puede sacar con facilidad el tubo; la greda queda adherida á la superficie interior y se quita con cinceles y raederas. Los machos pequeños se hacen también de hierro fundido, vaciándolos en moldes especiales de arena húmeda: las partes salientes que hayan de añadirse á la plantilla se hacen, como ésta, de madera y se fijan á ella con clavos, teniendo cuidado de no usar cola, que se ablandaría con la humedad de la arena y con el calor.

El principal inconveniente de este método es el desprendimiento súbito de vapores, que perjudican al operario y que hacen duro y refractario al hierro que está en contacto con la arena.

Tercer método. *Moldeo en arena seca*.—Este sistema de vaciar difiere del anterior en que, después de preparados los moldes, se llevan las cajas á un horno, donde se dejan hasta que la arena se seque; de este modo corre el líquido por un molde seco y caliente, resultando mejor metal, aunque más caro por el mayor gasto de combustible.

Cuarto método. *Moldeo en arcilla ó greda*.—Este modo de fundir es el más difícil y costoso; así es que se reserva para la fabricación de grandes cilindros para máquinas de vapor, y en general, para cualquier pieza, que por sus considerables dimensiones exigiese cajas de tal peso y tamaño que no se pudieran manejar con facilidad. La arcilla ó greda se trabaja teniendo á la vista los dibujos, y las operaciones se diferencian tanto de las que se efectúan con arena, que en las fundiciones hay trabajadores especiales para la obra de greda.

Á fin de facilitar el estudio del procedimiento, se describirá el modo de moldear y fundir un cilindro de gran tamaño, que se supondrá terminado por dos rebordes con molduras (fig. 268). El moldeo se efectúa sobre una plancha circular de hierro fundido, colocada en el suelo del taller; esta placa, PP' (fig. 269), cuyo diámetro debe exceder en $0^m,2$, por lo menos, al del cilindro proyectado, lleva en su circunferencia tres partes salientes b, b', b'', á las que se aplican cadenas suspendidas de una grúa, que pueden elevarla en una posición perfectamente horizontal. En el centro de la placa hay practicado un agujero, en el que se introduce el gorrón de una barra de hierro ó eje, E, que se eleva, ajustándose por la parte superior en una cruz de madera, que le impide cabecear, pero no el que gire libremente en su interior y sin sacudimiento: el eje lleva además cerca de

su extremo, uno ó dos brazos *cd*, *c'd'*, paralelos entre sí y normales á la barra, que tienen varios agujeros destinados á fijar, por medio de pasadores de rosca, unas plantillas, *T*, llamadas *tablas de filo* ó *esperas*, en la posición conveniente. Para el caso que se considera, la primera de estas tablas, cuyo borde interior deberá engendrar al girar alrededor del eje, *E*, un cilindro igual al interior del tubo que se quiere fundir, se fija á los brazos, *cd*, *c'd'*, de modo que dicha arista, perfectamente recta, diste del eje una longitud igual al radio interior del tubo, y que su extremidad inferior quede unos 3 ó 4 milímetros por encima de la superficie del disco que sirve de base. Se principia entonces la construcción del macho, que se hace con adobes blandos y arcilla húmeda, sobre la placa de hierro colado y alrededor del eje, cuidando de que la superficie exterior de esta fábrica, que si es de dimensiones muy considerables puede hacerse hueca, diste por lo menos 0m,02 ó 0m,03 del borde de la espera, y sea algo más alta que el cilindro que se ha de vaciar: se revoca en seguida con una capa de 0m,03 de grueso, de barro batido con pelo, y se hace girar la espera, cuyo filo la rae hasta que se forme un cilindro lustroso, *m*, que constituirá el macho ó parte hueca del tubo. Así permanece hasta que se seca, operación que se activa en tiempos húmedos, y cuando el macho no es macizo, encendiendo carbón ó ramaje en su interior. Se levanta después la espera unos 0m,06 ó 0m,07 para formar sobre la plancha una cubierta de arcilla, *aa*, que corresponderá á la cara inferior del reborde del cilindro. Concluído de secar el macho, se tapan todas las grietas ó hendeduras que se presenten, con greda húmeda, y se cubre su superficie con una capa espesa de polvos de carbón y agua, para evitar que se pegue la que ha de colocarse encima. Se reemplaza luego la primera espera con otra (fig. 270), cuyo borde interior afecte exactamente la misma forma del perfil exterior del cilindro proyectado, con todas las molduras continuas que tenga, pero prescindiendo de las del reborde superior: esta nueva espera se coloca á una distancia del eje igual al radio exterior del tubo, de suerte que al girar engendrará el filo interior una superficie igual á la exterior de aquel. Dispuesta la espera, se extiende otra capa de arcilla preparada sin pelo, que se aproxime en forma y dimensiones á las que haya de presentar el hierro colado del tubo: haciendo mover la espera se corregirán los defectos y se obtendrá la representación exacta del tubo y su reborde inferior, *t* (figura 269), puesto que esta capa de arcilla ocupará el sitio en que después habrá de vaciarse el hierro. Cuando está seca la arcilla se ennegrece como antes con carbón la superficie externa, pues conforme se verá, hay que separar esta capa de la que se ponga encima. La espera, que no se necesita ya, se quita: se colocan entonces sobre la base metálica, dos placas semicirculares de hierro, *M* (fig. 271), con tres salientes cada una, y cuyos bordes interiores tienen la curvatura de la sección inferior del tubo. Estas placas, *Q* (fig. 269), sirven de base para la parte exterior del molde ó *chaqueta*, *h*, que se construye sobre ellas, con adobes y arcilla, como el macho, en dos mitades semicilíndricas separadas por juntas verticales corridas, que correspondan á las uniones de las placas semicirculares, á fin de que se puedan separar fácilmente, cuando se haya secado la chaqueta. Ésta se eleva hasta la cara inferior del reborde superior, y encima se construye este reborde, *r*, con arcilla, dándole el perfil exacto, por medio de una espera ó tabla pequeña, que se prepara al efecto. Por último, se hace en otra plancha separada un bollo ó torta de greda para cubrir la parte superior de dicho reborde. Cuando están secas estas diversas piezas, se extraen lateralmente las dos mitades de la chaqueta, valiéndose de una grúa, y la parte representativa del cilindro, ya inútil, se rompe con cuidado; se suspende luego con la grúa y cadenas la placa fundamental, que sostiene el macho, el cual se aloja con la base de hierro en una excavación de profundidad mayor que la altura del cilindro, practicada de antemano en un sitio bien seco, de modo que la plancha permanezca horizontal, y se disponen en el lugar que les corresponde, las dos piezas de la chaqueta. En seguida se rellenan el interior del macho, si no es macizo, y el hueco que queda entre la superficie exterior de la chaqueta y las paredes de la excavación, con arena que se comprime con cuidado alrededor del molde, que se puede sujetar además con una cadena; finalmente, se coloca en la parte superior la torta de greda, en la que deben haberse abierto previamente un portillo para la entrada del metal, y uno ó más respiraderos para dar salida al aire caliente y á los gases. Todo queda enterrado en la arena, con la cual se rellena el pozo hasta el nivel del suelo de la fundición, encontrándose ya el molde en estado de recibir el hierro colado.

Los moldes de greda son siempre de dimensiones considerables y requieren una gran carga de metal y un reverbero para fundirlo, y como no bastan los cazos para transportar el hierro colado, se establece una reguera, por donde corre el metal líquido desde el horno hasta el molde, cuando se verifica la sangría. Después que se haya enfriado el hierro fundido, se extrae del pozo la arena que cubre el molde, se rompe la chaqueta y se puede sacar la pieza ya terminada.

Cuando se requieran hierros fundidos más compactos ó densos que los ordinarios, se coloca el molde en un pozo profundo con portillos y respiraderos, á una altura sobre aquel, mayor ó menor, según el grado de compacidad que se desee; se vierte el metal hasta la superficie superior del portillo y evidentemente, en virtud de la presión debida á su altura sobre el molde, se producirá cierta condensación en el hierro que éste contiene. La dirección del portillo no debe ser vertical, porque el peso del metal podría romper el molde al caer desde tal altura, ó llevar consigo aire que formaría ampollas en el objeto vaciado.

Quinto método. *Moldeo en hierro colado.* — Los hierros fundidos que reciben el nombre de *templados*, sólo difieren de los que se preparan por el procedimiento anterior en que se usan moldes de hierro colado de mucho espesor y cubiertos con una ligera capa de arcilla. Las piezas hechas de este modo resultan más duras en la superficie que las que se obtienen por los otros métodos, y el interior queda formado por un hierro que no es agrio, porque si bien el enfriamiento brusco que sufre el metal que se pone inmediatamente en contacto con el molde le hace blanquear, como el calor transmitido á éste por el metal líquido, eleva pronto su temperatura, el interior tarda bastante en enfriarse, y conserva las condiciones de buen hierro colado gris. No se entrará en detalles de fabricación, bastando indicar que este método se usa para construir cilindros laminadores, tubos grandes para conducción de aguas, y otras piezas semejantes, y que los hierros que se obtienen son de mucha mejor calidad cuando los moldes se colocan verticales para recibir el metal fundido.

Generalidades sobre las obras de hierro colado.—Al ejecutar una obra de hierro fundido debe cuidarse de preparar con esmero los moldes ó las plantillas, de no invertir más metal que el necesario para la debida resistencia y buen aspecto de las piezas, y

sobre todo, de que no haya gran diferencia de espesores entre las diversas partes, especialmente en las uniones, pues el exceso relativo de material en un punto, puede contribuir á la rotura de la pieza por los más débiles.

El coste de una obra de hierro fundido puede apreciarse de varios modos: ya pesando directamente los objetos; ya calculando el peso por medio de su volumen y de la densidad, que oscila entre 7,2 y 7,5, según la composición de los hierros y el trabajo á que se someten; ya pesando la plantilla y multiplicando por la relación de densidades del hierro colado y de la madera con que aquella se haya construído. Para los tubos y otras obras análogas, la evaluación puede hacerse por metro corriente, que es el método más expedito. Cuando el tamaño y forma de las piezas son constantes, se toma por unidad el valor de una de ellas.

ACERO.

Teoría y propiedades del acero.—El *acero* se considera generalmente como un metal compuesto de hierro y de carbono, en el cual la cantidad de este último elemento varía del 1 al 2 por 100. Esta proporción es menor que la que entra en el hierro fundido, que oscila de 2 á 4,5 por 100, pudiéndose considerar el acero, desde este punto de vista, como un tránsito del hierro puro al colado, de modo que por grados insensibles se podría pasar del hierro dulce al acero y de éste al hierro colado, aumentando progresivamente la cantidad de carbono.

Sin embargo, no se crea que en el acero no entra más cuerpo extraño al hierro que el carbono, pues se encuentran muy á menudo el silicio, el azufre, el fósforo, el arsénico, el aluminio, el cobre, el cromo, el tungsteno y otras substancias. Pero hay más: parece probado que muchas de ellas deben considerarse como acerantes, y que las proporciones en que se hallan son las que determinan las notables propiedades de los aceros templados. Como comprobación de que el carbono no desempeña un papel esencial en la aceración, bastará consignar algunos hechos. En 1867, la fábrica de Neuberg (Austria) fabricó un acero que, con 5 milésimas solamente de carbono y 10 de

silicio, resultaba análogo, por sus propiedades, al acero duro ordinario con 10 milésimas de carbono; lo cual se interpretó diciendo que el silicio podía reemplazar al carbono. Trabajos más recientes en la fábrica de Seraing (Bélgica), han hecho ver que el mismo acero podía recibir hasta 14 milésimas de silicio, bajando el carbono á 16 diezmilésimas. De calidad excelente y con tenacidad casi doble que la ordinaria, se fabrica el acero en Brooklyn, cerca de Nueva-York, ligando con el hierro una corta cantidad de cromo, y con este producto se ha construído sobre el Mississipi, en San Luis, un magnífico puente metálico. De experimentos hechos por Berthier resulta que, no sólo el cromo, sino también el tungsteno, comunica al acero una dureza considerable. Por último, la fábrica de Terrenoire (Francia) tomó privilegio para un nuevo procedimiento, según el cual, bajando á una milésima el carbono, se podían dejar 4 milésimas de fósforo en el acero sin perjudicar su calidad; recurso que ya desde 1869 utilizaban dos establecimientos alemanes, poco menos que como una falsificación inocente para el suministro de carriles.

Nada tiene de particular que el fósforo, por sí solo, haga duro el hierro sin perjudicar su resistencia, porque el mismo resultado produce añadido al bronce, como más adelante se verá. En el acero no se trata de añadir fósforo, sino de dejar una parte del que contienen naturalmente algunas menas, que, como las belgas, se proscribían antes para ciertos trabajos. El resultado industrial puede llegar á ser importante, pero el científico lo es desde luego, porque se ha venido á demostrar que el carbono, el fósforo, el silicio, el cromo y otros cuerpos, combinados en cortísimas dosis con el hierro, pueden convertirlo en acero, con la condición de no encontrarse dos juntos en proporciones análogas, pues entonces la suma de ambos perjudica á la calidad y hace el mismo efecto que el aumento de proporción de uno de ellos. Así es que si á un acero de 10 milésimas de carbono, se le añaden 2 ó 3 de fósforo, resulta tanto ó más agrio que un hierro colado muy carburado; pero bajando el carbono á una milésima, puede aumentarse el fósforo hasta 4, sin inconveniente alguno.

No se puede decir, por tanto, que el carbono sea el agente único de la aceración; pero no está todavía bastante estudiada, ni con arreglo á un plan sistemático, la acción ó influencia de otros cuerpos; y aun cuando la explicación que se ha apuntado parece exacta, dista de es-

tar suficientemente demostrada, y por eso la teoría del acero se encuentra ahora en la confusión causada por el descubrimiento de nuevos hechos, y es probable que continúe así hasta que se generalice el estudio de la influencia que ejerce en la textura de los metales su combinación con pequeñas dosis de otras substancias (1).

En lo sucesivo se considerará el acero, como se ha dicho al principio de este artículo, como un hierro modificado por una corta cantidad de carbono, comprendida entre 1 y 2 por 100, puesto que no hay elementos teóricos ni prácticos que basten para poder examinar estos productos desde un punto de vista más elevado.

Las propiedades físicas del acero varían mucho, según que se le haya ó no sometido á la operación del *temple*, que luego se describirá. En el segundo caso el acero presenta un conjunto de caracteres, que se diferencian muy poco de los del hierro, pues no se distingue de él en ductilidad ni maleabilidad, y su trabajo se verifica de la misma manera que el del hierro, soldándose perfectamente consigo mismo y con este último metal. El ácido nítrico es muy á propósito para reconocer ambos cuerpos, porque si bien ataca á los dos, produce en el acero una mancha de color verdoso y en el hierro de color gris.

Pero si el acero se ha templado, adquiere una gran dureza y una elasticidad considerable, haciéndose bastante diferente del hierro por sus propiedades especiales, circunstancias que explican las muchas aplicaciones que recibe.

La densidad media del acero viene á ser, como la del hierro forjado, 7,8.

FABRICACIÓN DEL ACERO.

Clasificación.—Para dar una idea de los variadísimos procedimientos que se siguen para fabricar el acero, se dividirá este importante producto en tres grupos, que se distinguen entre sí, no sólo por los métodos de preparación, sino también por las propiedades de los metales obtenidos. Dentro de cada uno de los grupos caben

(1) Esta interesante teoría de la aceración se ha tomado de un notable artículo publicado por el sabio Inspector general del Cuerpo, D. Eduardo Saavedra.

nuevas subdivisiones que oportunamente se indicarán. Las tres clases de acero que comprende la primera división, son las siguientes:

1.ª Aceros ordinarios.
2.ª Acero oriental ó damasquino.
3.ª Aceros obtenidos por procedimientos modernos.

ACEROS ORDINARIOS.

Subdivisión.—En el comercio se distinguen varias clases de acero ordinario, según sus propiedades y los procedimientos que han servido para prepararlo, á saber:

1.° El *acero natural*.
2.° El *acero de forja ó de fragua*.
3.° El *acero de cementación*.
4.° El *acero fundido*.

Acero natural.—Se obtiene directamente de algunas menas especiales, por la reducción en forjas catalanas. Al hablar del hierro preparado por este método, ya se ha dicho que, tomando ciertas precauciones en la marcha de la operación, podía prepararse acero, es decir, conseguir que el hierro, en vez de salir completamente descarburado, conserve una pequeña cantidad de carbono. El resultado depende por completo de la pericia de los operarios, los cuales lograrán que el producto sea hierro dulce ó acero, según se desee, ó también un hierro más ó menos carburado.

Este procedimiento es el único que sirve para extraer el acero directamente de los minerales.

Acero de forja ó de fragua.—Es el que se obtiene mediante una afinación incompleta, que se hace sufrir á algunos hierros fundidos, para quitarles parte de su carbono; los que dan mejores aceros de fragua son los grises ó blancos que proceden de menas espáticas y cargadas de manganeso. Durante el afino, la totalidad del silicio y del manganeso se separan y pasan á las escorias; el manganeso las hace muy fluidas y sirve, por tanto, para detener la acción descarburante sobre el hierro fundido.

La teoría de la operación es la misma que la del afino del hierro colado, sólo que esta afinación debe detenerse antes de la descarburación total. Las escorias que se emplean son muy ricas en óxido de

hierro, y ceden su oxígeno, que, en virtud de la mayor afinidad que tiene este cuerpo con el carbono que con el hierro, á una alta temperatura, se combina con el carbono del hierro fundido, desprendiéndose en estado de óxido de carbono. Se ve, pues, que si hay medio de detener la acción oxidante y descarburante antes de haber despojado por completo de su carbono al hierro, se obtendrá acero; mientras que si se prolonga, el resultado será hierro dulce.

Pasando á la práctica de la operación, sería muy largo enumerar los diversos métodos que se siguen para llevarla á cabo, pues que en cada país existe el suyo propio: como, por otra parte, todos ellos no se diferencian más que en detalles, y las reacciones que se verifican están fundadas en la teoría que se acaba de recordar, únicamente se describirá como ejemplo el empleado en el departamento del Isère (Francia).

El horno (fig. 272) afecta una forma completamente análoga á la de los descritos para la afinación ordinaria, con pequeñísimas variaciones. No tiene más que una tobera, en posición casi horizontal y situada á $0^m,56$ sobre el fondo del crisol, consiguiéndose de este modo que el aire no produzca una acción descarburante tan completa como en la afinación; el fondo y paredes del crisol están cubiertos de brasca. La carga se verifica de la misma manera que en las fraguas catalanas, colocando junto al contraviento la mezcla de hierro fundido y escorias, y próximo á las forjas, ó sea á la pared en que se apoya la tobera, y ocupando un espacio doble, el carbón vegetal. Se da aire una vez terminada la carga, y como se han echado de antemano algunos carbones encendidos, toda la masa de combustible se pone candente, transmitiendo á la mezcla de metal y escorias la temperatura necesaria para que se verifique la reacción. Con objeto de no prolongar demasiado el afino, cuando ya esté fluido el hierro, debe amortiguarse la corriente de aire y echar arena silícea para impedir el contacto inmediato del metal con el oxígeno del aire. Las escorias han de permanecer siempre fluidas, para que un operario que provisto de un espetón remueve la masa, pueda separar las que suban, á causa de su menor densidad, del acero que va tomando cuerpo poco á poco y acaba por depositarse en el fondo del crisol, donde se coagula en estado esponjoso. El operario rompe con el hurgón la costra que forman las escorias, cuando la reacción ha terminado, y se tiene

una torta de 15 á 20 kilogramos, que se llama *lobanillo* y que se saca para cinglarla. La duración completa de la operación es de unas veintiocho horas, para obtener aquella cantidad de acero; pero como éste es muy poco homogéneo, se hace necesario someterlo á operaciones que mejoren su textura, y de las que se hablará luego.

Acero de cementación.—Esta clase de acero se obtiene produciendo la carburación del hierro forjado, bajo la influencia de una alta temperatura, en contacto con carbón. El trabajo se verifica colocando las barras de hierro y el combustible en cajas de paredes refractarias, que se cierran herméticamente después de llenas y que establecidas dentro de un horno se someten á la acción de un calor enérgico.

Las dimensiones de los hornos de cementación varían mucho y dependen de la cantidad de acero que se quiera producir. Su capacidad media suele ser la suficiente para recibir de 16 á 25 toneladas de hierro; el que se describirá como ejemplo es uno de los empleados en el condado de York, y puede admitir una carga de 17.600 kilogramos.

Las cajas de cementación, *a* (fig. 275), se construyen con ladrillos refractarios ó con arenisca cuarzosa perfectamente labrada; cuando se hacen de la primera substancia, las cajas se componen de dos filas de ladrillos puestos de canto: en ambos casos las juntas deben tomarse y retundirse con arcilla refractaria. El fondo de las cajas descansa en varios apoyos de sección cuadrada ó rectangular, formados de mampostería ó ladrillos refractarios; también están separadas de las paredes, dejando conductos, *b*, para el paso de la llama, con objeto de que ésta las rodee por completo. El horno se compone de cuatro muros verticales, cubiertos con bóvedas rebajadas y en rincón de claustro.

La longitud de las cajas es toda la que permite el horno, teniendo en cuenta el espacio ocupado por los conductos; su capacidad es de poco más de 3 metros cúbicos cada una. La altura de la bóveda, que varía de $0^m,90$ á $1^m,50$, es la necesaria para que los operarios puedan cargar ó descargar con comodidad las cajas. El hogar, provisto de su cenicero y de puertas especiales, está en la parte inferior, y encima de él se colocan las dos cajas que contiene cada horno. Las dos paredes verticales longitudinales, llevan además cada una tres aberturas rectangulares, que comunican con otras tantas pequeñas chimeneas

verticales, *c*, que desembocan todas en una bóveda esférica, *g*, apoyada en un muro cilíndrico de fábrica, que rodea al horno, y en comunicación con la chimenea central, *d*. El muro cilíndrico tiene huecos practicados en su parte inferior, que permiten el acceso á las puertas del horno. Las paredes de éste presentan lateralmente varias aberturas; la del medio, *e*, ó sea la mayor, es la puerta por donde penetran los operarios para efectuar la carga y descarga de las barras, y otras dos pequeñas, *f*, tienen por objeto sacar durante la operación barras de prueba, que sirven para conocer el progreso de la cementación y cuándo está terminada.

Como combustible se emplea en Suecia carbón vegetal, y en Inglaterra hulla.

Para cargar las cajas, se coloca en el fondo una capa de carbón de 8 centímetros; después se ponen las barras de hierro, dejando entre ellas un intervalo de un centímetro. Su longitud debe ser un poco menor que la de las cajas, para que puedan dilatarse libremente; la sección suele ser cuadrada ó rectangular. Los espacios que quedan vacíos entre las barras, se llenan de carbón; sobre aquellas se dispone una capa de la misma substancia, de 1,5 á 2 centímetros de espesor; encima va una nueva fila de barras en el mismo sentido que las anteriores, pero teniendo cuidado de que los lechos estén formados alternativamente por barras puestas de plano y de canto; así se continúa, terminando con una capa de carbón de 8 centímetros, igual á la inferior, que debe quedar á algunos centímetros por debajo del borde superior de las cajas. Se ha tratado de cerrar éstas herméticamente por varios medios, y el que ha dado mejores resultados consiste en recubrir la última capa de carbón, con otra de 10 centímetros de espesor, formada de los detritos que se depositan al pie de las ruedas de afilar; esta materia, constituida en esencia de cuarzo pulverulento y de partículas de acero oxidado en su superficie, se coagula y se reblandece por la acción del calor, pero sin fundirse nunca.

Ya cargado el horno, se eleva rápidamente la temperatura hasta obtener la del rojo obscuro, que es la en que se verifica la cementación; una vez alcanzado este grado de calor, debe procurarse que se mantenga constante. Como el horno carece de registros, el modo de dirigir el trabajo depende exclusivamente de la práctica de los operarios, los cuales obtienen la temperatura necesaria, regulando por

tanteos el combustible, consistiendo su habilidad en conservar fijo el calor rojo obscuro, por un número de días que debe ser proporcionado á la sección transversal de las barras y á la carburación que se quiera obtener; pero, por lo general, la acción se tiene que prolongar unos siete días. Después se deja enfriar el horno con mucha lentitud, no bajando de ocho días el tiempo que se destina á aquel objeto. Sumando este período con el anterior, se ve que en definitiva las barras permanecen dentro del horno unas dos semanas.

En este procedimiento puede emplearse cualquier clase de hierros; pero los que dan mejores aceros de cementación son los suecos, noruegos y rusos; esto quizá se deba á que su preparación se hace con carbón vegetal, pues es cosa comprobada por la experiencia, como ya se sabe, que muchas de las buenas cualidades de aquellos hierros reconocen por causa el empleo de dicho combustible.

Cuando se sacan las barras salen llenas de ampollas y con oquedades en su superficie, distinguiéndose las marcas de los fragmentos de carbón con los cuales aquellas estaban en contacto, y presentando en sus secciones numerosas grietas, generalmente paralelas á las caras mayores de la barra. La maleabilidad queda destruída, haciéndose tan frágiles las barras, que basta dejarlas caer sobre una piedra ó un cuerpo resistente para producir su rotura. En este estado es, por tanto, imposible toda aplicación, y para emplear el acero de cementación hay que someterlo á ciertas transformaciones, según el objeto á que se destine. Estas operaciones dan lugar á tres clases de acero, el *cilindrado*, el *estirado* y el *batido*.

ACERO CILINDRADO.—Para obtenerlo se calientan las barras en un reverbero y se pasan después por el laminador, consiguiéndose así aproximar y soldar las partes agrietadas por efecto de la cementación. Esta clase de acero se emplea en particular para muelles de carruajes.

ACERO ESTIRADO.—Se obtiene por dos operaciones distintas y sucesivas. La primera consiste en calentar las barras de acero en un hogar con tobera, recociéndolas así una por una. La segunda se reduce á trabajarlas al rojo blanco en martinetes, también una por una, hasta forjar piezas de las dimensiones y formas que convengan. El acero estirado tiene algunas aplicaciones en los casos en que no se exija gran resistencia, pues siempre queda escamoso y poco homogéneo.

ACERO BATIDO.—Se compone de paquetes de barras de acero de cementación. Para prepararlo se empieza por recalentar cierto número de barras, tales como han salido del horno; una vez recocidas, se trabajan en el laminador ó en el martinete, para soldar perfectamente entre sí todos los elementos del paquete. Cuando se quiere obtener acero de mejor calidad, se dispone el paquete de suerte que las barras exteriores del mismo sean de acero anteriormente cilindrado ó estirado.

Los aceros más apreciados y de mayor resistencia se preparan formando paquetes con las barras resultantes de haber efectuado una ó dos veces la operación descrita en el párrafo anterior.

Ya se dijo que el acero de fragua debe sufrir algunas preparaciones para cinglarlo y darle forma; son iguales á las que se acaban de explicar para el de cementación, teniendo presente que es mucho más fácil obtener las modificaciones de estructura con la primera clase de acero, es decir, con el de forja.

OTRO MÉTODO DE CEMENTACIÓN.—Se ha tratado también de cementar el hierro, produciendo su carburación, por medio de una corriente de carburo de hidrógeno. Los ensayos que se han verificado han sido varios, habiendo tenido todos ellos poca aceptación, á causa de resultar caros los aceros obtenidos. Para dar una idea de lo que en principio son estos procedimientos, más bien teóricos que prácticos, se describirá ligeramente el debido á Makintosh.

El aparato que propuso para la cementación, se compone de tubos cilíndricos de hierro colado, vestidos interiormente de arcilla refractaria en un espesor de 5 centímetros. Cada uno termina, por sus dos extremos, en otros tubos de diámetro más pequeño, que sirven para la entrada y salida del hidrocarburo, llevando con este objeto las llaves correspondientes. Las barras que han de convertirse en acero se colocan en el interior y en sentido de la longitud del tubo, teniendo cuidado de separar cada fila horizontal de las demás, para lo cual las barras se disponen sobre caballetes sencillos, formados de dos barretas de hierro; de este modo el metal ofrece la mayor superficie de contacto posible á la acción del gas carburante.

El tubo se coloca en un hogar, dispuesto de modo que quede rodeado de carbón por todos lados. Una vez cargado el recipiente, se enciende el fuego, y cuando aquel está á la temperatura del rojo obs-

curo, se hace llegar una corriente de hidrógeno carbonado, no abriendo más que la llave de entrada y teniendo cerrada la de salida. Así permanece durante media hora; al cabo de este tiempo, y con objeto de renovar el gas, se abre la segunda llave y se deja salir el contenido en el tubo; se hace llegar nueva cantidad de gas y se repite del mismo modo la operación, remudando cada media hora el carburo. Se observa que éste, al salir del tubo, se encuentra despojado de gran parte del carbono que contenía, ardiendo, por consiguiente, con llama poco brillante.

La duración de la cementación completa depende de las dimensiones de las barras y de la temperatura á que se verifica: diez y ocho á veinte horas se puede tomar como término medio. El acero así preparado posee las mismas cualidades, con corta diferencia, que el producido por la cementación ordinaria, si bien parece ser algo más homogéneo.

Acero fundido.—Para preparar esta clase de acero es necesario someter á la fusión aceros obtenidos por cualquiera de los tres procedimientos anteriores; de este modo se consigue que adquieran una gran homogeneidad, que es imposible que alcancen, tanto el acero de cementación como el natural y el de fragua, si no se les ha sometido antes á operaciones especiales. El descubrimiento del acero fundido se debe á Benjamín Huntsman, que montó el primer establecimiento de este género en Sheffield, por el año de 1740.

La fusión del acero se verifica en crisoles especiales, que se colocan, por lo general, de dos en dos, en hornos á propósito. Cada horno (fig. 274), está formado por cuatro muros verticales, que con la plaza y la tapa, forman un paralelepípedo recto de base rectangular, construído con arenisca cuarzosa, muy refractaria y compacta. Tres de estos muros se prolongan hasta el suelo, y en el cuarto hay una abertura que permite la entrada del aire necesario para la combustión; el opuesto presenta otro hueco, que comunica con un tragante que conduce los gases de la combustión á una chimenea de 10 á 12 metros de elevación; la arista superior de dicha abertura debe quedar á unos cuantos centímetros por debajo de la cara superior del horno. La chimenea lleva un registro, como indica el dibujo, de modo que pueda variarse su sección para regular el tiro. La tapa del horno (fig. 275), está formada por ladrillos refractarios, suje-

tos á una guarnición de hierro, por medio de tornillos de presión.

Los crisoles son análogos á los que se emplean para la fabricación del vidrio. Se construyen con una mezcla de arcilla refractaria, de fragmentos de crisoles viejos machacados y pulverizados, y de cok también triturado; en definitiva, están constituídos por arcilla refractaria de primera clase y cok. Esta mezcla forma con el agua una pasta que se moldea perfectamente; las tapas de los crisoles se preparan del mismo modo.

Para verificar la operación se empieza por dar fuego al horno, siendo casi siempre cok el combustible empleado, sobre todo en Inglaterra. Cuando la temperatura es la del rojo obscuro, se introducen los crisoles vacíos y tapados, los cuales se habrán tenido hasta ese momento en un horno de recocer, después de haberlos secado al aire, con objeto de que no se rompan por efecto de un cambio brusco de temperatura. Se llena el horno de cok, se abren los registros, hasta entonces cerrados, y se coloca la tapa en la cara superior del horno; así se obtiene un tiro enérgico, que da lugar á una temperatura muy elevada. En este estado se procede á introducir el acero en los crisoles, cerrando el horno una vez cargado y produciéndose la fusión del metal, en la que se invierten unas cuatro horas.

La carga de los crisoles comunes varía de 13 á 15 kilogramos, de modo que en cada horno se funden 30 kilogramos. En los talleres hay generalmente una fila de 10 hornos, pudiéndose producir á la vez unos 300 kilogramos de acero. Existen, sin embargo, fábricas de mucha mayor extensión, entre las que figura, en primer lugar, la fundada por Krupp, en el camino de Berlín á Colonia. Este establecimiento, uno de los más importantes del mundo, ocupa una superficie de 400 hectáreas, midiendo 75 los edificios cubiertos; los transportes interiores se hacen por un ferrocarril de vía ancha, de 37 kilómetros de longitud, y otro de vía estrecha, de 15; en las minas de hierro y carbón y en los hornos altos, que proporcionan las primeras materias, trabajan 8.000 operarios, y 12.000 en la fabricación de acero; y entre las colosales instalaciones con que cuenta este vasto centro industrial, bastará mencionar 19 hornos altos, 250 hornos para fundir acero y más de 1.000 herramientas mecánicas. Krupp ha llegado á obtener un lingote de 52 $^1/_2$ toneladas, que figuró en la Exposición de Viena. En esta explotación, y aun en otras de

menor desarrollo, los crisoles contienen de 20 á 40 kilogramos de metal, y suelen colocarse hasta 24 vasijas en cada horno.

Verificada la fusión del acero en los crisoles, se sacan éstos con unas tenazas grandes, que manejan varios operarios; se destapan dando un golpe á la cubierta, y se vierte su contenido en las *lingoteras*, que son capacidades de hierro fundido, por lo general, y cuya forma suele ser la de un prisma de base octógona. Los lingotes presentan también vacíos y oquedades en su estructura, lo que hace preciso someterlos á la acción de las máquinas de cinglar, practicando operaciones algo parecidas, aunque en menor escala, á las que se han indicado para el acero de cementación.

Preparación directa del acero fundido.—El acero fundido tiene excelentes propiedades; pero su precio resulta muy elevado, puesto que, como al principio se ha dicho, es necesario preparar previamente acero de cualquiera de las tres clases anteriores. Por este motivo se ha tratado de obtenerlo directamente y sin necesidad de fundir acero fabricado de antemano. Varios han sido los trabajos hechos con este objeto, pero no se hará más que citar dos métodos encontrados por Bréant al tratar de preparar el acero adamascado.

El primer procedimiento consiste en fundir hierro dulce con 4 por 100 de negro de humo. La operación es muy sencilla, pero el acero resulta extremadamente duro y difícil de trabajar; presenta un grano muy fino, toma un hermoso pulimento, y por la acción de los ácidos débiles adquiere las aguas del acero oriental.

El segundo procedimiento se reduce á afinar en un reverbero cierta cantidad de buen hierro fundido, al que se añade después otra igual del mismo hierro sin descarburar; se mezclan bien las substancias, que entran pronto en fusión, y producen un acero de buena calidad, cuya carburación es próximamente la mitad de la que tuviera el hierro colado.

ACERO DAMASQUINO.

Propiedades.—Esta clase de acero, conocida también con los nombres de acero *adamascado* ó acero *oriental*, no presenta gran interés desde el punto de vista de sus aplicaciones á la construcción, y sólo se dará una ligerísima idea de ella, pues constituye un artículo de lujo por sus propiedades especiales, que le dan un precio elevadísimo. Este acero ha sido muy apreciado en Europa, y sobre todo en Oriente, para dagas, espuelas, hojas de espadas y otros varios objetos. El nombre que se le da indica su procedencia, y su fabricación puede decirse que es un secreto, sabiéndose sólo que el mineral de hierro que se emplea es óxido magnético muy rico, con ganga cuarzosa.

El verdadero acero damasquino es notable por su extremada dureza y grande elasticidad, maleabilidad y ductilidad; pero sobre todo por su color, generalmente de fondo obscuro, sobre el cual se observan irisaciones muy variadas, ó sean aguas, cuando recibe la luz oblicua.

Imitaciones del acero damasquino.—El elevado precio de este acero ha sido causa de que se hayan hecho muchos trabajos con objeto de imitarlo, y entre los más importantes, se deben citar los del Ingeniero ruso Anocoff. Éste encontró, después de muchos ensayos, cuatro métodos distintos para producir aceros que presentan con mayor ó menor aproximación las propiedades del oriental. El procedimiento que le dió mejores resultados, fué fundir el hierro con grafito; una vez producido el acero, es necesario someterlo á ciertas operaciones para obtener los reflejos ó aguas característicos, y una de las más importantes, es pulimentarlo.

El sistema no se diferencia del primero de Bréant, antes citado, más que en que el negro de humo se reemplaza con grafito; sin embargo, según Anocoff, los reflejos obtenidos por medio del negro de humo no se parecen á los del verdadero acero de Damasco. El procedimiento de Anocoff da un acero casi igual al oriental, pero que resulta á un precio tanto ó más considerable que este último.

Stodart y Faraday han hecho ver que añadiendo al acero pequeñas cantidades de algunos metales, como platino, plata, aluminio, paladio, rodio, vanadio y cerio, presentan los compuestos aguas semejantes á las del acero damasquino.

En la actualidad, las fábricas de armas blancas en Europa han llegado á igualar, si no á sobrepujar, el famoso temple y flexibilidad de las antiguas hojas de Damasco, aunque el acero no ofrezca, por lo general, las irisaciones características del oriental. Entre las fábricas europeas, merece colocarse en primer lugar la histórica de Toledo, tanto por su respetable antigüedad, como por la excelencia de sus productos.

Acero indio.—Se dará por terminado este asunto, indicando que el acero *indio*, llamado también *de Wootz*, es sumamente puro, de dureza considerable, de grano muy fino y tiene la propiedad de adamascarse con facilidad. Se usa en la construcción de armas y para la cuchillería fina, en la que da mejores resultados que los aceros fundidos de calidad superior.

ACEROS FABRICADOS POR PROCEDIMIENTOS MODERNOS.

Muchos y muy variados son los métodos perfeccionados que en el día se emplean para fabricar aceros, y muy distintos también los productos que se obtienen. Bastará ocuparse en los dos que tienen mayor importancia, que son el procedimiento de *pudelación* y el de *Bessemer*.

Acero pudelado.—La teoría de la preparación de este acero es exactamente la misma que la de la pudelación y afino del hierro colado, pues como la composición del acero suele no diferir de la del hierro dulce más que en una pequeña cantidad de carbono, se concibe que, deteniendo la pudelación en cierto punto, se obtendrá acero.

Los hornos que se emplean son análogos á los reverberos ya descritos, pero más resistentes, y la bóveda más rebajada con objeto de concentrar el calor. El trabajo se verifica con mayor lentitud, hasta conseguir la temperatura más alta posible, colocando las barras de hierro fundido bajo un baño de escorias y conservando una llama muy poco oxidante. En el Creuzot se ha visto que es mucho más ventajoso hacer penetrar en el horno una corriente de aire, dejando herméticamente cerrado el cenicero.

En esta pudelación, lo mismo que sucede con la ordinaria para preparar el hierro dulce, el buen resultado depende en gran parte de la práctica de los operarios encargados de dirigirla, trabajo que es sin duda de los más penosos que se conocen en las industras modernas.

En cuanto á lo que se refiere á la calidad del producto obtenido, los pareceres de los industriales y de los hombres de ciencia están divididos. Los últimos sostienen que el hierro parcialmente pudelado es verdadero acero, mientras que los otros lo consideran como un hierro acerado, es decir, como un hierro carburado, intermedio entre el hierro dulce y el acero. En las renombradas fábricas de Sheffield no se admiten aceros pudelados, por no poseer, según la opinión de los fabricantes, los mismos caracteres que el acero propiamente dicho. De todos modos, es evidente que los productos que resultan son más económicos que los aceros fundidos ordinarios, y proporcionan un material de mejores condiciones que el hierro forjado y susceptible de numerosas aplicaciones.

Acero de Bessemer.—Teoría del procedimiento.—La teoría de este método de preparación consiste en obtener directamente acero fundido, haciendo pasar una corriente de aire á través del hierro colado líquido. Éste se coloca en un aparato especial, que en seguida se describirá, y se inyecta en él una fuerte corriente de aire; á primera vista parece que el líquido debiera enfriarse, pero el descubrimiento más importante y fundamental hecho por Bessemer, consiste en haber demostrado que sucede precisamente lo contrario, en virtud de las reacciones que se verifican. La corriente de aire, encontrándose con el hierro fundido, lo remueve enérgicamente, manteniendo una homogeneidad perfecta en la masa, que permanece fluida, por la elevada temperatura que desarrolla la combustión de sus elementos, en particular el silicio y el manganeso, que son los primeros que se oxidan, siguiendo luego el carbono, y por último el hierro. Se comprende, por consiguiente, que si se tiene un hierro colado que encierre, además de los elementos del acero, otros que sean perjudiciales y que la corriente de aire pueda eliminar, bastará detener la inyección, en el instante conveniente, para obtener acero, es decir, el hierro, con la proporción de carbono que se desee. Pero como será raro encontrar hierros fundidos que reunan las condiciones necesarias, y como, por otra parte, no se podrá tampoco hacer cesar la corriente en el momento exactamente preciso, Bessemer ha modificado el procedimiento. Emplea hierro colado que se licua en el aparato; hace después penetrar á través de él la corriente de aire, que se deja obrar hasta que los gases acaben de desprenderse, lo que indicará que han desaparecido todos los cuerpos eliminables. Teóricamente el producto de esta separación debiera ser hierro maleable, pero en la práctica se obtiene, en estado líquido, un hierro muy duro y en extremo agrio, cuyas propiedades le aproximan al que se conoce con los calificativos de *nitrogenado* ó *quemado*, que no tiene aplicación alguna en las construcciones ni en la industria. Una vez obtenido dentro del aparato este metal,

se añade otro hierro colado (que convendrá tenga algo de manganeso) y de tal carburación, que la mezcla resulte con la que haya de tener el acero.

Según lo que se acaba de decir, se ve que el acero de Bessemer puede prepararse de dos maneras: 1.ª, directamente por la afinación parcial de ciertos hierros; 2.ª, descarburando totalmente el hierro fundido y mezclando con el producto otra nueva cantidad de aquel mismo metal ó de otro más ó menos carburado. Por los motivos que antes se expusieron, el primer método apenas se usa.

Descripción del aparato.—El aparato en que se efectúan todas estas operaciones, se designó por su inventor con el nombre de *convertidor* ó *conversor*, perfectamente aplicado, puesto que sirve para *convertir* al metal fundido en hierro quemado y á éste en acero. El conversor (fig. 276), consiste en una retorta de palastro vestida interiormente de arcilla refractaria; los pasadores que unen las placas de hierro no han de llegar al interior de la retorta, sino que deben quedar embutidos en la camisa. Está montado en fuertes apoyos de hierro colado, que, provistos de cojinetes, permiten que el conversor pueda girar alrededor de un eje horizontal; este eje no lo atraviesa tampoco, sino que va unido á la envolvente de palastro por dos puntos opuestos de su superficie; el movimiento se comunica por medio de engranajes (fig. 277). La altura del eje ha de ser tal, que cuando el conversor esté vacío se encuentre completamente equilibrado; si se halla cargado de hierro fundido baja el centro de gravedad, asegurándose la estabilidad del aparato.

El fondo del conversor (figs. 276 y 278), lleva una placa de hierro colado con siete agujeros, donde se colocan las toberas, que consisten simplemente en cilindros de arcilla refractaria (fig. 279), cada uno de los cuales tiene 5 ó 7 agujeros de un centímetro de diámetro. Estas toberas se introducen en la placa de hierro fundido, como indica la figura 276.

Debajo de las toberas hay un cilindro metálico de poca altura, cerrado por una placa de hierro de las mismas dimensiones que la que lleva las toberas, y que es una caja de aire, común á todas ellas; penetra aquel por un tubo que permite conservar la actividad de la corriente en todas las posiciones del aparato. Con este objeto el tubo (fig. 277), que parte de la caja de aire, sigue junto al vientre de la

retorta y se introduce en el eje, de donde sale para entrar en una caja de estopas, que está en comunicación con el conducto que da paso á la corriente de aire producida por la máquina inyectora.

La forma especial que afecta el conversor es la más apropiada para facilitar las reacciones que en su interior se han de producir y las maniobras que con él se tienen que ejecutar; en conjunto se ve que presenta el aspecto de una retorta de grandes dimensiones, cuyo cuello estuviera truncado. El ensanchamiento que ofrece tiene por objeto hacer posible, inclinando el aparato por medio de una rotación alrededor de su eje horizontal, introducir en él la cantidad de hierro colado necesaria, sin que el nivel del líquido llegue á enrasar con los orificios de las toberas, que, en caso contrario, se obstruirían. Á la vez, con el estrechamiento y perfil de la parte superior, se consigue que gran parte de las materias proyectadas vuelvan á entrar en el conversor, lo que no sucedería si fuera vertical la boca de la retorta.

Marcha de la operación.—Descrito ya el aparato, se explicará cómo se dirige la operación para obtener acero, suponiendo que se va á preparar por el segundo procedimiento, que es el único que de ordinario se emplea. El interior del conversor se calienta con cok, al mismo tiempo que el hierro fundido se tiene en cubilotes ó reverberos donde se verifica la fusión; cuando ésta se haya producido, se quita completamente el cok no quemado que quedase en el conversor, el cual se inclina, colocándolo en la posición conveniente, para recibir el hierro colado, que se echa hasta que llegue al nivel de las toberas. Antes de volver el aparato á su posición vertical se inyecta aire en las toberas, á fin de que no se obstruyan; cuando aquel ha adquirido toda su fuerza, se pone el conversor en su situación primitiva, comenzando entonces las reacciones.

La afinación que sufre el hierro fundido se verifica en unos veintidos minutos, durante los cuales se observan diferentes fenómenos, cuyas manifestaciones exteriores pueden dividirse, según Cizancourt, en los cuatro períodos siguientes: 1.er *período*. Duración de siete á ocho minutos; producción de chispas hasta que aparece la llama.—2.º *período*. Duración de ocho minutos; aumento de la llama y formación del dardo.—3.er *período*. Duración de dos minutos; producción de detonaciones, erupciones y proyecciones, á causa de la flui-

dez.—4.° *periodo*. Duración de tres á cuatro minutos; se aviva la llama y aumenta su intensidad luminosa hasta que desaparece.

La explicación de estos efectos es muy sencilla, conociendo las materias contenidas dentro del conversor y las reacciones á que la corriente de aire y la temperatura dan lugar, que son muy análogas á las que se producen en la afinación y pudelación ordinaria del hierro fundido. Se recordará que el metal que se introduce es un hierro colado común, y que, por tanto, no podrá menos de contener impurezas, en proporción mayor ó menor.

1.er *periodo*.—Una vez vertical el aparato y lanzado el aire por las toberas, se determina en el líquido una violenta agitación, que es causa de que se desprendan chispas de la masa candente. El silicio y el manganeso contenidos en el hierro, son los primeros que se oxidan, y al combinarse con el oxígeno del aire, á una alta temperatura, resultan silicatos fusibles de manganeso. Al mismo tiempo, un poco de carbono se quema; el hierro que queda libre se oxida, y, uniéndose al anhidrido silícico, forma un silicato líquido de hierro. El calor va así aumentando gradualmente hasta que todo el silicio está oxidado; el carbono empieza entonces á combinarse más libremente con el oxígeno, y se manifiesta una llama tenue.

2.° *periodo*.—Aumentando la energía de la reacción, la llama va creciendo con rapidez hasta que se verifica una combinación muy activa, apareciendo el dardo. El metal sube cada vez más en el conversor, algunas veces hasta ocupar más del doble de su primer volumen, y en este estado, completamente fluido, presenta una gran superficie á la acción del aire, que continúa combinándose con el carbono aún contenido en el hierro, y produciendo una combustión extremadamente intensa.

3.er *periodo*.—El carbono se quema con tal actividad en este período, que determina una serie de explosiones, arrojando fuera del conversor las escorias fluidas en mayor ó menor cantidad; mientras tanto, la combustión de los gases es perfecta, y un dardo blanco y prolongado sale por el tragante de la vasija.

4.° *periodo*.—La llama sigue aumentando más y más en intensidad, hasta que llega un momento en que se apaga repentinamente, lo que indica la completa descarburación del metal empleado.

Conforme se indicó, el producto obtenido por esta afinación no es hierro maleable, como la teoría induciría á suponer, sino hierro quemado ó nitrogenado, y hay que agregarle ahora la cantidad de hierro fundido necesaria para transformarlo en acero. El metal que de ordinario se usa está preparado con carbón vegetal; para echarlo en el conversor, se empieza por colocar horizontal el aparato, cuando la llama ha cesado por completo, y del mismo modo que se vació la primera dosis de hierro colado, se verifica la introducción de la segunda, por supuesto en estado líquido, é interrumpiendo la corriente de aire. Lleno con la cantidad necesaria el conversor, se vuelve á dar aire con toda la fuerza posible, á fin de remover y hacer que se mezclen perfectamente el hierro quemado y el fundido; esta operación no se prolonga más que algunos segundos, para evitar la oxidación. En seguida se vierte el contenido, que será ya acero, en los cazos, lo que se verifica haciendo girar el conversor y cesando de inyectar aire.

Disposición de los cazos.—Las vasijas ó cazos que se emplean son grandes capacidades de palastro, vestidas en su interior de arcilla refractaria, que deben tener todos los movimientos necesarios para recibir el acero á su salida del aparato y distribuirlo en los moldes. Para conseguir este objeto, el cazo se coloca en el extremo de un brazo metálico (fig. 280), móvil alrededor de un eje vertical; el otro extremo del brazo lleva un fuerte contrapeso, que equilibra el sistema. También se suele hacer que el eje vertical sea el émbolo de una prensa hidráulica, lo que permite, además del movimiento giratorio horizontal, elevar más ó menos el cazo, según las alturas de los moldes y del cuello del conversor. Á fin de no tener que inclinar el cazo al verter su contenido en los moldes, presenta en el fondo un pequeño agujero (fig. 281), revestido igualmente de arcilla refractaria y cerrado por un tapón cónico, á manera de válvula. La varilla para efectuar las maniobras tiene la forma de una horquilla, que pasa por encima del cazo; está cubierta de tierra gredosa, se mueve en unas guías colocadas en la parte exterior de la vasija, y lleva un mango para subirla ó bajarla y abrir ó cerrar, por tanto, el orificio. De este modo, las impurezas y escorias que flotan en la superficie del acero fluido no pasan á los moldes, y el chorro metálico llega á éstos sin ponerse en contacto con sus paredes. Los moldes, cuya forma es ligeramente cónica ó piramidal, se colocan en el arco de círculo

descrito por el cazo en su movimiento alrededor del eje vertical.

Propiedades del acero de Bessemer.—Las propiedades del producto obtenido han sido también, como las del acero pudelado, objeto de discusión. Frémy sostiene que el resultado de la operación es verdadero acero, y que usando convenientemente el conversor con hierros á propósito, se pueden preparar aceros de superior calidad: Taylor y los industriales ingleses, en general, no le reconocen tan buenas condiciones, sino que lo consideran simplemente como un hierro acerado, no admitiéndose por este motivo los aceros preparados por el procedimiento que se reseña, en las célebres fábricas de cuchillos de Sheffield. De todos modos, es indudable que, aunque no reuna todas las propiedades del buen acero fundido, es un producto de mejores condiciones que el hierro ordinario, y esto es causa de que los carriles, por ejemplo, que hoy se emplean, son casi en su totalidad de acero de Bessemer, en reemplazo de los antiguos de hierro forjado.

Pero todo lo que antecede, supone que los hierros colados que se someten á la acción del conversor, no contengan dosis considerables de elementos que no se puedan separar, y entre éstos se encuentran el azufre y el fósforo, y muy en particular el último.

Las análisis hechas de aceros de Bessemer, prueban que si bien una parte del azufre se quema al principio de la operación, el resto continúa combinado con el metal: en cuanto al fósforo, permanece íntegro, y, por tanto, la proporción de este metaloide es mayor en el acero que en el hierro de que aquel procede, á causa de las mermas que experimenta el producto por la eliminación de otras substancias. La permanencia del fósforo se explica satisfactoriamente por existir sílice abundante en el revestimiento arcilloso del conversor, que transforma en silicatos fusibles á los fosfatos que puedan formarse. Para que el método de Bessemer dé buenos resultados, es preciso que los hierros colados tengan menos de 0,05 por 100 de fósforo, lo que sólo se consigue cuando aquellos provienen de menas muy puras, como las que se explotan en Vizcaya y Suecia.

Desfosforización.—Con algunas modificaciones en el conversor y en la marcha de las operaciones, se ha logrado desfosforizar los hierros fundidos. El problema lo han resuelto los Sres. Sidney Thomas y Percy Gilchrist; no se entrará en detalles del sistema, que en defi-

nitiva se reduce: 1.°, á emplear para revestir el aparato, en vez de materia silícea, dolomía sola ó amasada con colta, petróleo ú otro cuerpo oleaginoso mineral; 2.°, á introducir en el conversor un 20 por 100 de materias básicas, compuestas de cal y óxido de hierro, que se destinan á absorber los ácidos silícico y fosfórico, á medida que se forman; 3.°, á prolongar la inyección de aire unos tres minutos más que en el procedimiento ordinario, en cuyo período se oxida bastante el hierro y se elimina el fósforo con rapidez; 4.°, á deducir prácticamente el término de las reacciones, por el examen del metal que se obtiene.

Este procedimiento se halla establecido en el Creuzot desde el año 1880.

TEMPLE DEL ACERO.

Cuando se calienta una barra ó lámina de acero á diversas temperaturas, presenta colores distintos, pero que, por lo común, son invariables para cada una de aquellas, adquiriendo caracteres variables, según que se temple á una ú otra. El *temple* se produce sumergiendo las piezas en agua ú otras substancias para que se enfríen rápidamente cuando tienen el color que se desea, pues casi siempre se aprecia la temperatura por la coloración del metal, aunque sería preferible verificarlo con el pirómetro ó con aleaciones fusibles á los grados respectivos.

Los colores que presenta el acero, y los grados de calor que aproximadamente les corresponden, según Debette, son los siguientes:

1.°	Amarillo de paja, pálido	221°
2.°	Amarillo de paja, más obscuro	232°
3.°	Anaranjado	243°
4.°	El mismo, más obscuro ó castaño	254°
5.°	El mismo, con algo de púrpura	265°
6.°	Púrpura	277°
7.°	Azul pálido	288°
8.°	Azul	293°
9.°	Azul muy obscuro	317°
10.°	Verde	332°

El color núm. 1 conviene, en general, para lancetas; el 2 para navajas de afeitar é instrumentos de cirugía; el 3 para cortaplumas;

el 4 para cinceles y herramientas de trabajar el hierro; el 5 para cepillos y hachas; el 6 para cuchillos; el 7 para espadas y resortes ó muelles de reloj; el 8 para sierras ordinarias y puñales, y el 9 para sierras grandes.

Templando el acero con los primeros colores se pone sumamente duro y fuerte, salta antes de doblarse y tiene poca elasticidad; con los colores siguientes se hace más blando y flexible, siendo, sin embargo, bastante duro y mucho más elástico, y con los últimos se ablanda en mayor grado y se dobla con facilidad. Si se sigue calentando desaparecen los colores, y enfriándolo con lentitud se hace muy dulce el metal y se trabaja perfectamente. Las piezas algo grandes presentan inconvenientes para templarse, porque es difícil introducirlas tan pronto como es necesario en el agua, en toda su longitud.

APLICACIONES DEL ACERO.

El acero, que apenas se usaba en la construcción hace algunos años más que para acerar herramientas, se emplea hoy con gran éxito en las varillas de suspensión ó péndolas de los puentes colgados, en envolventes de calderas, vástagos de émbolos, ejes de aparatos, etc., y, en general, en todas aquellas piezas que requieran una resistencia mayor que la que ofrece el hierro forjado ordinario. Pero la principal aplicación que en el día recibe es á la construcción de carriles para las vías férreas, usándose también para algunos elementos y aun para la totalidad de armaduras ó tramos metálicos que hayan de estar sometidos á esfuerzos considerables. El acero se destina asimismo á la fabricación de cañones y á otra multitud de usos importantes en obras navales y militares.

Aceración de herramientas.—Por lo común, las herramientas se hacen de hierro y se aceran sus puntas ó extremos, con lo cual se consigue darles bastante resistencia para que no salten con facilidad, y al mismo tiempo el temple que sea conveniente al trabajo que hayan de ejecutar.

El hecho de soldarse el hierro con el acero hace que esta operación sea sencilla. Después de unir los dos metales y de dar á la herramienta la forma y pulimento adecuados, se templa, de ordinario, muy dura para venderla, pudiendo luego, si conviene, templarla más blanda los mismos operarios.

Suelen también acerarse las herramientas, por medio del llamado *temple de caja*, que no es más que una cementación, que transforma en verdadero acero la parte exterior y superficial de la herramienta, para lo cual, después de bien trabajada con hierro forjado, se introduce en una caja con polvo de carbón y se la tiene en un horno al calor rojo durante algunas horas; así se convierte en acero una parte de suficiente espesor, para que pueda templarse y trabajarse como aquel. Sin embargo, estas herramientas se estropean muy pronto y el cementarlas de nuevo sería costoso, por lo que es preferible soldar antes el acero, en cantidad conveniente, para que se aguces y templen siempre que se desgasten, y utilizarlas todo el tiempo que permitan su peso, forma ó dimensiones; en muchos casos es mejor, y en último resultado más económico, hacerlas enteramente de acero.

COBRE.

El *cobre* es un metal conocido desde muy antiguo, puesto que su aleación con el estaño ha servido para designar uno de los períodos prehistóricos, la *edad del bronce*. Los romanos extraían el cobre en grandes cantidades de la isla de Chipre, cuyo nombre sirvió de raíz al que se da á aquel.

Propiedades.—El cobre es el único metal de color rojo, tiene un brillo intenso, y desprende, si se le frota, un olor desagradable. Su densidad, cuando está puro, es de 8,85 á 8,95; la del cobre del comercio no pasa á veces de 8,5. Estas variaciones dependen de la naturaleza y proporciones de las impurezas que contenga, y de que sus moléculas estén más ó menos agregadas por efecto del trabajo á que se le haya sometido.

Se funde á la temperatura de 27° del pirómetro de Wedgwood, que equivalen á unos 1.200° centígrados. Al aire seco no se altera, pero al húmedo se cubre de manchas verdes de hidrocarbonato cúprico, llamado *cardenillo*, substancia tóxica, como todas las sales de este metal, por cuya razón los utensilios de cobre de las baterías de cocina se estañan en su parte interior.

Es maleable, dúctil, tenaz y blando: unido al estaño, que posee la última cualidad en mayor grado, resulta el bronce, cuerpo más duro que sus componentes; circunstancia digna de notarse, porque ordinariamente la liga de dos metales tiene una dureza intermedia entre las de aquellos.

Existe en estado nativo, y su yacimiento más importante se halla en las orillas del lago Superior, en los Estados-Unidos; en Chile y en Bolivia se encuentra el cobre nativo mezclado con óxido rojo y ganga cuarzosa, mas como no basta, ni con mucho, en cantidad, para satisfacer las necesidades de la industria, es preciso extraerlo de otros minerales.

Menas.—Las menas de cobre que principalmente se benefician, son: la *pirita cobriza* ó *chalcopirita*, $mFe^2S^3 + nCu^2S$, que á veces va asociada á la *pirita marcial*, FeS^2; el *sulfuro cuproso* ó *chalcosina*, Cu^2S, á que casi siempre acompañan sulfuros de plata, plomo y antimonio; el *óxido cuproso* ó *rojo*, Cu^2O, que es muy importante y procede en especial de Chile; la *malaquita*, $\begin{array}{l} Cu''\left\{\begin{array}{l}OH\\O\end{array}\right.\\ Cu''\left\{\begin{array}{l}O\\OH\end{array}\right.\end{array}\Big\} CO''$, hidrocarbonato dicúprico, muy estimado en joyería por su color verde veteado y fácil pulimento, y que no se emplea como mineral de cobre sino cuando, por ser de mala calidad, no puede aprovecharse para la fabricación de objetos de lujo; la *azurita*, $\begin{array}{l} Cu''\left\{\begin{array}{l}OH\\O\end{array}\right\} CO''\\ Cu''\left\{\begin{array}{l}O\\O\end{array}\right.\\ Cu''\left\{\begin{array}{l}O\\OH\end{array}\right\} CO''\end{array}$, hidrobicarbonato tricúprico, de que se explotó una mina en Chessy, cerca de Lyon, que hoy está ya agotada.

Las principales minas de cobre en Europa, se encuentran en Inglaterra, España (Riotinto y Tharsis, provincia de Huelva), Alemania y Sajonia. En América, figuran en primera línea los Estados-Unidos, Chile, Bolivia y Perú. También existen minas en la Oceanía, debiendo citar entre ellas las que se explotan en Filipinas (1).

(1) Se presentan depósitos notables de mineral de cobre, sobre todo de piritas, en la sierra central de la isla de Luzón. Los igorrotes, que la habitan, benefician hace siglos el metal por procedimientos toscos, pero que, sin embargo, revelan tradiciones heredadas de pueblos civilizados, quizá de la China ó del Japón, pues esta industria es muy anterior á la llegada de los españoles al Archipiélago. La descripción del sistema seguido por los igorrotes, y las vicisitudes por que han pasado las empresas europeas que han tratado de montar la explotación en grande de los criaderos, pueden verse en la reseña publicada en la *Revista Minera*, por el Ingeniero de minas D. Antonio Hernández, y en los viajes por Filipinas de sir John Bowring y Jagor, de que existen versiones castellanas. Bastará saber que se calcula en 300 *picos* anuales (más de 18 ½ toneladas) el cobre labrado ó sin labrar, que se puso á la venta por los igorrotes desde 1840 á 1855.

METALURGIA DEL COBRE.

La metalurgia del cobre es bastante complicada; no se hará más que indicar ligeramente el modo de extraer el metal de las menas sulfuradas ó *piritosas* y de las oxidadas ú *ocráceas*, examinando en el primer caso los tratamientos por vía seca y húmeda.

MENAS PIRITOSAS.

Tratamiento por la vía seca.—TEORÍA DE LOS PROCEDIMIENTOS.—Se empieza por someter á la torrefacción las piritas cobrizas, que se convierten así en una mezcla de óxidos, sulfuros y sulfatos. Esta mezcla se funde después de agregar sílice, y entonces se producen varias reacciones basadas en que el cobre tiene más afinidad con el azufre que el hierro, y el anhidrido silícico más con el óxido de hierro que con el de cobre. En su virtud, se verifica: 1.°, que el *óxido de hierro* se une directamente á la sílice, formando un silicato fusible; 2.°, que el *sulfuro de hierro* cambia su azufre por el oxígeno del óxido de cobre, resultando sulfuro de este metal y óxido de hierro que se une á la sílice; 3.°, que el *sulfato de hierro* se transforma en silicato, desprendiéndose anhidrido sulfuroso, á causa de ser el ácido silícico mucho más fijo que el sulfúrico; 4.°, que el *óxido de cobre*, como ya se ha dicho, cambia su oxígeno por el azufre del sulfuro de hierro; 5.°, que el *sulfato de cobre* se descompone en anhidrido sulfuroso que se desprende, y óxido de cobre que se convierte en sulfuro. Se ve, pues, que, en definitiva, se produce una mezcla de sulfuro de cobre y escorias de silicato de hierro; bastaría, pues, separar éstas y calentar el sulfuro de cobre con óxido del mismo metal, para obtener cobre metálico, según expresa la fórmula siguiente:

$$Cu^2S + 2Cu^2O = 6Cu + SO^2.$$

Pero en la práctica todas estas reacciones no se verifican por completo, como indica la teoría, quedando, por tanto, algo de hierro que impurifica al sulfuro de cobre, y pasando á las escorias parte de este último metal, por cuya razón las operaciones se complican, dando lugar á diversos procedimientos metalúrgicos. Los más importantes son el de Mansfeld (Sajonia) y el del país de Gales (Inglaterra), que se diferencian en que en el primero se usan hornos de cuba, y reverberos en el segundo; se describirá este último.

PROCEDIMIENTO INGLÉS.—Se emplean para el tratamiento minerales de naturaleza muy diversa, piritosos la mayor parte, y los demás de óxido rojo. Las menas piritosas se someten á la torrefacción en hornos cuya bóveda se encuentra en la disposición que indica la figura 282, con objeto de que la llama vaya lamiendo el mineral que cae en la plaza por dos tolvas, *C* y *C'*, provistas de registros, y que los operarios arreglan y extienden introduciendo los espetones por las puertas de trabajo, *A*, *A*; á estas puertas corresponden otras cuatro aberturas, *B*, *B*, que sirven para hacer pasar al depósito inferior, *G*, los productos de la torrefacción, que son, como ya se sabe, óxidos, sulfuros y sulfatos. Se procura que la llama del horno sea lo más oxidante posible, para lo cual, además de las puertas, *A*, que permanecen abiertas durante el trabajo, hay otras aberturas, *D* y *E*, por donde se verifica la entrada del aire.

En esta operación, cuya duración suele ser de doce horas, cada dos se remueve el mineral con los espetones, y cuando está calcinado, se le hace pasar al depósito inferior, y sin dejar enfriar el horno se vuelve á cargar, abriendo los registros de las tolvas. El combustible empleado es antracita mezclada con $^1/_4$ de su peso de hulla grasa.

Los productos de la torrefacción se llevan, cuando se han enfriado, al horno de fusión; se añaden sulfuro (Cu^2S) de ganga cuarzosa, escorias ricas de operaciones precedentes y algo de espato flúor, que hace más sueltas las escorias; se eleva la temperatura, y entonces se efectúan las reacciones que al principio se indicaron, y que dan por resultado la separación de gran parte del hierro. El horno en que se opera esta fusión es un reverbero cubierto por una bóveda rebajada (fig. 283) y de plaza elíptica formada de escorias. La llama no ha de ser oxidante, y para satisfacer á esta condición, la tolva, *A*, y la puerta de trabajo, *B*, están cerca de la chimenea, á fin de que el aire que por ellas éntre sea arrastrado por el tiro enérgico que la chimenea establece, sin dar lugar á que se oxide el mineral. La puerta de trabajo, *B*, sirve para hacer salir las escorias que van á parar á las piletas *D;* y el producto de la operación sale por el orifi-

cio C, y pasando por el conducto de hierro fundido F, vestido interiormente de arcilla, se vierte en el depósito E, lleno de agua. El trabajo dura cuatro horas, al cabo de las cuales se habrán verificado las reacciones reseñadas, separándose gran parte del hierro en estado de silicato, y quedando en el depósito una mezcla de sulfuros de cobre y hierro, que se llama *mata bronceada*, y cuya fórmula parece es $5Cu^2S + Fe^2S^3 + 4FeS$. El combustible que se emplea para la fusión es una mezcla de $^2/_3$ de antracita y $^1/_3$ de hulla.

La mata bronceada se somete de nuevo, primero á la torrefacción, con objeto de oxidar parte de los sulfuros, y después á la fusión, añadiéndole minerales crudos y ricos, y escorias compuestas casi exclusivamente de sílice y óxido de cobre; la fusión se prolonga hasta que la mata pierda su color y tome el gris claro, lo que indicará que no queda ya más que sulfuro de cobre con pequeñas cantidades de hierro. Este producto, que recibe el nombre de *mata blanca*, y cuya fórmula puede expresarse por $8Cu^2S + FeS$, se mezcla con óxido rojo y se funde en un horno, que difiere del anteriormente descrito en que la tolva se reemplaza con una puerta lateral, y entonces se verifica la reacción

$$Cu^2S + 2Cu^2O = SO^2 + 6Cu.$$

En esta operación la ganga cuarzosa que contiene el óxido rojo favorece la eliminación de los metales extraños que la mata contuviera, los cuales pasan á las escorias; el resultado final es *cobre negro* ó *ampolloso*, ó sea metal puro mezclado con pequeñas cantidades de hierro, azufre y otras substancias. El anhidrido sulfuroso, juntamente con algunos otros gases, se desprende.

El cobre negro se afina fundiéndolo en cubilotes; y cuando las escorias toman un color rojo, señal de que empieza á formarse silicato de cobre, se agrega carbón y se remueve la masa con una rama verde gruesa, ó mejor con un tronco de árbol joven, cuyo carbono facilita la reducción, no empleándose ramas secas, porque arderían en seguida. Terminada la afinación, se vierte el cobre fundido en moldes ó lingoteras.

Si los minerales de cobre contienen otros metales que se quiera beneficiar, hay que someterlos á tratamientos especiales y complicados, en cuya descripción no se entrará.

En resumen, los minerales sulfurados de cobre se someten á seis operaciones: 1.ª, torrefacción; 2.ª, fusión; 3.ª, torrefacción de la mata bronceada; 4.ª, fusión de la misma; 5.ª, fusión de la mata blanca, y 6.ª, afino del cobre negro.

Tratamiento por la vía húmeda.—El beneficio del cobre por la vía húmeda se verifica, ya aprovechando las disoluciones naturales que suelen formarse dentro de las mismas minas, ya actuando en disoluciones artificiales, obtenidas haciendo obrar el agua en menas piritosas oxidadas por la torrefacción, ó exponiendo al contacto de ácidos, en estado líquido ó gaseoso, menas de diferente naturaleza.

Las disoluciones naturales y las artificiales acuosas, encierran el metal en estado de sulfato; se precipita, en general, el cobre por medio del hierro; así se prepara el *cobre de cemento*, que sometido á una fusión como las menas sulfuradas, da lugar á cobre negro, que afinado, produce el del comercio.

Este sistema es el que, en último resultado, se emplea en Riotinto, y sobre el que se dirán breves palabras. Las menas que en aquella localidad se benefician, proceden de una masa considerable de pirita de hierro, en la que se encuentra diseminada alguna pirita de cobre; la riqueza de las menas no pasa, por término medio, de 2 $^1/_2$ por 100. La calcinación ó torrefacción se verifica en montones de forma de tronco de pirámide ó de cono, que se llaman *teleras*, y tiene por objeto convertir en sulfatos la mayor parte de los sulfuros que entran en los minerales. Las menas bien calcinadas, que se recogen al deshacer las teleras, se llevan á los *pilones* ó *disolvedores*, que son estanques de mampostería, forrados con tablas calafateadas, cuyo piso está inclinado hacia el costado en que se encuentra el orificio de salida. Una vez cargados los disolvedores, se hacen llegar las aguas hasta que alcancen un nivel poco más alto que el de los minerales: á las veinticuatro horas se da salida al líquido, haciéndole pasar á otros pilones *reposadores*, donde deposita las materias que lleva en suspensión; se vuelve á echar agua en el disolvedor y se repite la operación de ocho á doce veces. Las tierras que al final quedan en los disolvedores, se sacan y se llevan á los vaciaderos ó *terreros*; las aguas claras de los reposadores pasan á los pilones *de cementación*, que no difieren gran cosa en su forma de aquellos y de los disolvedores ya

descritos. Antes de introducir en ellos la disolución de caparrosa, se colocan en su centro lingotes de hierro colado, que precipitan el cobre, obteniéndose gran cantidad de sulfato ferroso, que da color verde al líquido, y que poco á poco se transforma en sal férrica por la acción oxidante del aire. En el momento que las aguas han *rendido*, es decir, que han precipitado el cobre que encerraban, se hacen entrar en los reposadores *de aguas rendidas,* en que depositan las substancias que conservan en suspensión.

El metal precipitado sobre el hierro forma una costra, que en el país se llama *cáscara*; se separa raspando las barras de hierro con unas tablillas, pero después de haber rendido varias disoluciones. La cáscara recogida se espolvorea con cemento bien seco, procedente de operaciones anteriores, y se hacen bolas del tamaño de granadas, que se secan al sol ó en reverberos de plaza rectangular, llamados *calentadores*. Las bolas se calcinan para que pierdan parte del arsénico, azufre, antimonio, etc., que contienen y se someten en seguida á una fusión ó *derretido* en copelas alemanas, que las convierte en cobre negro, que se afina por un procedimiento muy semejante al seguido en el país de Gales.

Anualmente se producen en Riotinto, por este sistema, alrededor de 1.000 toneladas de cobre fino: la unidad se vende en Sevilla á unas 1.750 pesetas.

MENAS OXIDADAS Ú OCRÁCEAS.

La menas ocráceas se reducen por el carbón en hornos de cuba; y con objeto de que las escorias sean perfectamente fluidas y no haya pérdida de cobre, debe agregarse un fundente. Resulta cobre negro, que se afina como en los casos anteriores.

COBRE LAMINADO.

Preparación.—El *cobre laminado* se prepara de la misma manera que el palastro, haciendo pasar las hojas por cilindros lisos, después de aplanarlas en martinetes.

Como hay que caldear á menudo las hojas, se oxidan rápidamente; para hacer desaparecer el óxido, se mantienen sumergidas en orines dentro de un hoyo, durante algún tiempo, formándose así sales dobles muy volátiles de cobre y amonio, que se desprenden al elevar la temperatura. El óxido que queda es tan poco adherente, que se puede hacer saltar con facilidad, frotando con una tablilla de madera; no así el que cubre los bordes, pues para separarlo hay que recortar las hojas. Estos recortes se aprovechan en las operaciones metalúrgicas ya descritas.

Dimensiones.—Las láminas de cobre suelen tener $1^m,407$ de largo, por 1,157 de ancho. Los números con que se conocen en el comercio, se refieren al peso de cada hoja expresado en libras francesas.

APLICACIONES DEL COBRE.

Se emplea el cobre laminado para cubiertas de depósitos y forros de buques; antes de que se generalizara el uso del zinc, se aplicaba también con alguna frecuencia á cubrir edificios.

En clavazón y piezas de diversas formas se adopta el cobre para todas las partes metálicas de polvorines y otras construcciones, en que debe proscribirse el hierro. Asimismo se usa para construir atacaderas, mucho más á propósito que las ordinarias, si se han de explotar rocas silíceas; para algunas piezas especiales de maquinaria; para alambres de conductores eléctricos, y para la preparación de aleaciones importantes. De todas éstas, las que interesa conocer al Ingeniero son el *bronce* y el *latón*, de que más adelante se hablará.

PLOMO.

Propiedades.—El *plomo* es un metal de color gris azulado, muy brillante cuando no está oxidado, blando hasta dejarse rayar con la uña y que mancha el papel por el roce. Es maleable y dúctil, pero tanto las hojas como los hilos que con él pueden obtenerse, tienen muy poca resistencia. Su densidad es de 11,35, aumentando algo, aunque poco, cuando se bate ó lamina. Como todos los metales que se encuentran mezclados con el plomo, son más ligeros que él y al mismo tiempo más duros, resulta que el peso específico y la blandura podrán servir de indicios para apreciar su pureza: las principales substancias extrañas que contienen los plomos del comercio son antimonio, arsénico y cobre. El plomo se funde á una temperatura comprendida entre 320 y 340°; es algo volátil, pero no lo bastante para que pueda destilarse.

Expuesto al aire se cubre el plomo de una película gris obscura, cuya composición parece que se acerca á la del óxido Pb^2O, mas la oxidación es tan superficial, que con sólo rayar el metal aparece su brillo característico.

Menas.—La principal mena de plomo es el sulfuro plúmbico, PbS, ó *galena*, que se explota en grande escala en algunas localidades de España, sobre todo en Linares (Jaén) y en Sierra de Gádor (Almería). Las galenas encierran casi siempre cierta cantidad de plata, y á menudo la suficiente para permitir su beneficio.

En la costa de Levante de la Península, se encuentran también en abundancia carbonatos y sulfatos de plomo, que constituyen en aquella zona una importante industria. El carbonato ó *plomo blanco* y el sulfato ó *anglesita*, se comprenden bajo la denominación de menas *terrosas:* se cree que ambos cuerpos, y en particular el último, provienen, en la generalidad de los casos, de la alteración de la galena.

España posee tal riqueza en plomos, que contribuye con las $\frac{2}{5}$

partes de los que se consumen en la industria: tan sólo Inglaterra, de donde procede la mitad del plomo del comercio, la supera en producción.

METALURGIA DEL PLOMO.

MENAS TERROSAS.

Como el tratamiento de las menas terrosas tiene mucha menos importancia que el de las galenas, bastará decir que se verifica siempre en hornos de cuba, y, por consiguiente, poniéndolas en contacto con carbón, á una elevada temperatura; los carbonatos se convierten en óxidos, que se reducen con facilidad; los sulfatos se transforman parcialmente en sulfuros, resultando de la acción de éstos sobre los sulfatos no reducidos, la separación del plomo metálico y un desprendimiento de anhidrido sulfuroso, según se verá al explicar el tratamiento de las galenas.

En Cartagena se benefician, por este método, las abundantes menas terrosas de las sierras inmediatas.

MENAS SULFUROSAS.

Para el tratamiento de las galenas se emplea en unas ocasiones el sistema llamado *de afinidad*, y en otras el *de reacción*.

Tratamiento por afinidad.—Consiste en fundir la galena en contacto con hierro ó con materias muy ferruginosas, consiguiéndose así que el hierro se combine con el azufre y quede en libertad el plomo. Este procedimiento sólo se emplea para galenas pobres, y para aquellas que, aun siendo ricas, tienen ganga muy cuarzosa. En los demás casos se recurre al segundo método.

Tratamiento por reacción.—Se explicará este procedimiento con alguna detención, por ser el más importante de todos.

Teoría del beneficio.—La teoría del beneficio consiste en que si se hace sufrir á la galena una calcinación en reverberos, se obtiene una mezcla de óxidos, sulfatos y sulfuros, que, por su acción mutua, determinan la separación del plomo metálico y del azufre, que se desprende en estado de anhidrido sulfuroso. Las diversas reacciones que se producen pueden encerrarse en las fórmulas siguientes:

$$PbS + 2PbO = 3Pb + SO^2.$$

$$PbS + \left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ Pb'' \end{matrix}\right\} O^2 = 2Pb + 2SO^2.$$

$$PbS + 2\left[\left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ Pb'' \end{matrix}\right\} O^2\right] = Pb + 2PbO + 3SO^2.$$

Procedimiento inglés.—Los reverberos usados en Inglaterra (figura 284) tienen una plaza más larga que ancha, formada por escorias pulverizadas ó arcilla poco silícea, que presenta una cavidad ó *pila* en el centro, cuyo fondo comunica con el exterior por el canillero, que permanece cerrado hasta el momento de sangrar el horno. Tres puertas á cada lado sirven para introducir los espetones ó hurgones, y otra para el combustible. La chimenea comunica con una serie de cámaras de condensación, donde se depositan el polvo arrastrado mecánicamente y el sulfuro de plomo que se volatilice.

Extendido el mineral sobre la plaza, se dejan abiertas las puertas más próximas al hogar, y empieza la calcinación. Al ir apareciendo el sulfato, que se reconoce por su color blanco, el operario revuelve la materia con lentitud; y después de mezclarla bien, cierra las primeras puertas y ejecuta el mismo trabajo sucesivamente por las segundas y terceras. Cuando se haya producido bastante sulfato y óxido, se cierran todas las puertas y se activa mucho el fuego para que se verifiquen las reacciones indicadas, resultando plomo metálico, que se reune en la pila; anhidrido sulfuroso, que se desprende; *matas* compuestas de un sulfuro plumboso, que se forma á una elevada temperatura y que por un enfriamiento lento da lugar á plomo y sulfuro plúmbico, y por fin, escorias más ó menos ricas, que se sacan de ordinario por la parte opuesta que el plomo. Si el fuego es muy violento, resultan muchas matas; si no ha sido suficiente, las reacciones son incompletas, las escorias contienen sulfato de plomo en abundancia y deben volverse á tratar. Cuando la operación se ha hecho bien, las escorias pobres que sobrenadan se quitan, y para solidificarlas más pronto se echan encima algunas paladas de cal, produciéndose así pastas que se sacan fácilmente, y abriendo el canillero se recoge en una caldera de hierro colado ó *reposador,* el plomo fundido con las escorias ricas y las matas. Las escorias que se solidifican prime-

ro se separan y se vuelven al horno con las materias que no han salido; activando de nuevo el fuego y dejando enfriar el horno con lentitud, termina la reacción, y las escorias más fusibles abandonan el plomo que retenían mecánicamente. Las matas se quitan también de la superficie del plomo y se funden en un horno de manga, ó se añaden al mineral que se trata en la operación siguiente. El plomo recogido se vierte en canales para formar *galápagos*, que se entregan al comercio, ó se llevan á los hornos de copela si contienen plata en cantidad suficiente para deber beneficiarla.

Procedimiento español.—En Linares y Sierra de Gádor se sigue el procedimiento inglés: las galenas del último distrito son de ganga caliza, pero las de Linares la tienen cuarzosa, lo cual dificulta algo el tratamiento y obliga á construir los hornos con más esmero que en Sierra de Gádor. Los hornos ingleses de uno y otro distrito carecen de tolva, y la carga, que es de 1.250 kilogramos, se hace con palas ó espuertas, ó con un aparato particular llamado *cebadera*, que es una especie de caja de palastro sin tapa y sin uno de los costados, que se introduce por las puertas ó ventanillas de trabajo. La plaza de estos hornos es casi plana, y tiene una ligera inclinación hacia la ventanilla central del muro anterior, por donde se efectúa la salida del metal líquido, que se recoge en un crisol.

En muchas de las minas de los distritos mencionados, cuyos propietarios no tienen grandes capitales y quieren, sin embargo, beneficiar por sí las galenas en lugar de venderlas, se usan para la fusión los hornos llamados *reverberos españoles*, que se conocen en algunos puntos con la denominación de *boliches*. La plaza de estos hornos es circular, y en cada operación no se cargan más que 50 arrobas, ó sean unos 600 kilogramos de galena.

Desplatación de los plomos.—Se dirán breves palabras acerca de este punto. Los plomos extraídos de galenas bastante argentíferas, se pueden desplatar por la *copelación*, que está basada en la propiedad que tiene el plomo de oxidarse cuando se calienta en contacto con el aire, mientras que la plata no se oxida. Todo se reduce, pues, á oxidar el plomo, hacer salir fuera del horno el litargirio fundido, y la plata quedará en la plaza del horno, que es la *copela* propiamente dicha, revestida en su parte superior de una capa de marga.

La desplatación de los plomos no se hace directamente en hornos de copela, sino cuando aquellos contienen $\frac{1}{5.000}$ de plata, por lo menos: si la proporción es más pequeña, pueden beneficiarse como se hace en Cartagena, sometiéndolos previamente á una operación llamada *afino por cristalización* ó *pattinsonaje*, del nombre de su inventor. Se funda en el principio de que si se deja enfriar con lentitud una aleación fundida de plomo y plata, y se agita con una espátula la masa líquida, se forman cristalillos de plomo casi puro, que se separan á medida que se presentan, quedando una liga más rica en plata que la primitiva. Repitiendo las manipulaciones, ya en la parte sólida que se separó, ya en la líquida que se decanta, se obtendrán, por una parte, plomos cada vez más pobres, y por otra, aleaciones cada vez más ricas en plata. Ésta se extrae por copelación cuando la liga ha llegado á adquirir condiciones á propósito de riqueza.

PLANCHAS Y TUBOS DE PLOMO.

PLANCHAS.

Fabricación.—Para laminar el plomo se empieza por preparar placas de 5 ó 6 milímetros de espesor, haciendo llegar el metal fundido á una losa de mármol horizontal ó con una inclinación muy suave; las dimensiones se limitan por medio de listones. El plomo fundido debe moldearse siempre á una temperatura relativamente baja, de tal modo que un papel introducido en el baño se carbonice sin inflamarse. Una vez preparadas las placas del espesor indicado, se estiran en frío, en laminadores semejantes á los empleados para los palastros, hasta que queden con el grueso que se desee.

Las placas de 5 ó 6 milímetros de espesor pueden también vaciarse, empleando moldes de hierro formados por dos láminas: la primera con un reborde de poca altura, y la otra lisa; el espacio que resulta entre ambas no está reservado en todo su ancho á la plancha, pues queda dividido en dos compartimientos, uno de ellos muy estrecho, que comunica con el otro por la parte de abajo. Por el primero se vierte el metal fundido, y las crasas oxidadas que se reunen en su superficie no pasan al interior del molde.

Clasificación de las planchas.—Las planchas se distinguen ordinariamente por números, que corresponden á los diferentes espesores. En Madrid se emplean seis números, aplicándose el primero á las chapas de 1 milímetro; el grueso va aumentando con el número, y llega á ser de 3 milímetros para las planchas del núm. 6. El ancho es siempre de $0^m,84$ (una vara), pero la longitud varía, aunque no suele pasar de $5^m,90$ (14 pies). El detalle de la clasificación corriente puede verse en el siguiente estado:

Números de las planchas.	Ancho. — *Metros.*	Espesor. — *Milímetros.*	Peso aproximado del metro cuadrado. — *Kilogramos.*
1	0,84	1,0	11,35
2	0,84	1,5	17,00
3	0,84	2,0	22,70
4	0,84	2,5	28,35
5	0,84	2,8	31,80
6	0.84	3,0	34,05

Se construyen, sin embargo, planchas de espesores mucho más variados y de mayor longitud y ancho. Como ejemplo, se estampa á continuación el cuadro referente á las que se fabrican en Adra, en el establecimiento de los hijos de Heredia, de Málaga:

DIMENSIONES DE LAS PLANCHAS.			PESO APROXIMADO	
Longitud. — *Metros.*	Ancho. — *Metros.*	Espesor. — *Milímetros.*	Del metro cuadrado. — *Kilogramos.*	De cada plancha. — *Kilogramos.*
5,015	1,811	0,5	5,65	52
6,687	1,950	0,9	10,20	134
6,687	1,950	1,4	15,90	209
6,687	1,950	1,9	21,55	283
6,687	1,950	2,4	27,25	358
6,687	1,950	2,8	31,80	418
6,687	1,950	3,3	37,45	493
5,015	1,950	3,8	43,15	425
4,180	1,950	4,3	48,80	401
4,180	1,950	4,7	53,35	438
3,344	1,950	5,2	59,00	388
3,344	1,950	5,7	64,70	425

TUBOS.

Los tubos de plomo pueden hacerse *continuos* ó *en trozos*. En este último caso suelen tener una forma ligeramente tronco-cónica, y la unión se efectúa por enchufes, rellenando los huecos de las juntas con plomo ó con una aleación de dicho metal y estaño. Los tubos continuos ofrecen la ventaja de no necesitar soldaduras, ó á lo menos de disminuir mucho su número, pues es fácil preparar y manejar tubos de una sola pieza, mientras su peso no exceda de unos 70 kilogramos. Las uniones de tubos continuos se verifican también por enchufe, cuidando de abocardar uno de ellos y adelgazar el otro.

Fabricación de tubos continuos.—Se hace llegar el plomo fundido á un molde de hierro colado, *abdc* (fig. 285), en cuyo eje se coloca un macho, *ef*, del mismo diámetro que el calibre de la pieza que se va á preparar: se obtiene así un tubo de plomo de paredes muy gruesas y de $0^m,6$ á $0^m,7$ de altura. Por su interior se introduce una barra redonda de hierro, que sirve de alma, y así dispuesto se estira en laminadores acanalados, semejantes á los ya descritos: se consigue de este modo adelgazar las paredes del tubo hasta que adquiera la longitud conveniente.

En la actualidad se aplica la prensa hidráulica, con muy buen éxito, á la fabricación de tubos continuos. Un vástago, *V* (fig. 286), unido invariablemente al émbolo de una prensa de mucha fuerza, puede penetrar en un depósito, *R*, practicado en una sólida pieza de hierro fundido; en el interior del depósito desliza un disco, *P*, provisto de una varilla, que constituye el macho del tubo. El plomo derretido se hace llegar al depósito por un embudo, *S*, que se quita cuando aquel está lleno, cerrando la abertura con un tapón de rosca; se conserva líquido el metal, calentando la capacidad con un hogar anular, provisto de un tubo para dar salida á los productos de la combustión. En el extremo superior del depósito se coloca una hilera de acero, de diámetro igual al exterior del tubo, y que tiene su centro en la misma vertical del macho. Una vez lleno el depósito, se hace mover la prensa, que obliga á elevarse al émbolo, *P*, el cual empuja al metal líquido, forzándole á pasar entre la hilera y el macho; se forma así un tubo que se enfría y solidifica al salir del aparato, y que se arrolla en el cilindro *D*. Repitiendo las operaciones, llega á alcanzar el tubo la longitud que convenga. La misma prensa sirve para hacer tubos en trozos, pudiendo entonces suprimirse el embudo, *S*. Un aparato construido con arreglo al mismo principio que se acaba de explicar, funciona perfectamente en la fábrica de D. Francisco López, establecida en Madrid, en el paseo de Santa María de la Cabeza.

Clasificación de los tubos.—Los tubos de plomo se clasifican con números, que dependen del espesor y el diámetro. En el comercio de Madrid hay tubos desde el núm. 1 hasta el 20; pero en realidad los términos de la escala son 25, porque se han intercalado los números 1 ½, 3 ½, 4 ½, 6 ½ y 8 ½. El espesor varía desde 2 milímetros (núms. 1 á 5) hasta 4 milímetros (núms. 18 á 20); el diámetro, desde 8 milímetros que tienen los del núm. 1 hasta 188, que miden los del 20. La escala detallada aparece en el siguiente cuadro:

Números de los tubos	Diámetros. — *Milímetros.*	Espesor. — *Milímetros.*	Peso aproximado del metro lineal. — *Kilogramos.*
1	8	2	0,75
1 ½	10	2	1,00
2	12	2	1,25
3	15	2	1,50
3 ½	18	2,5	2,00
4	20	2,5	2,25
4 ½	23	2,5	2,50
5	25	2,5	2,75
6	30	3	3,50
6 ½	35	3	4,50
7	40	3	6,00
8	47	3	6,50
8 ½	50	3,5	7,50
9	57	3,5	8,50
10	68	3,5	10,00
11	81	3,5	11,00
12	93	3,5	13,00
13	105	3,5	15,00
14	116	3,5	17,00
15	127	3,5	18,00
16	140	3,5	20,00
17	151	3,5	22,00
18	163	4	26,00
19	178	4	32,00
20	188	4	40,00

Hay fábricas, como la de los hermanos de Heredia, en Adra, que adoptan la clasificación inglesa, en la que el diámetro disminuye á medida que aumenta el número, como se expresa en la siguiente relación de los tubos más usuales, que se construyen en aquel establecimiento industrial:

Números de los tubos.	Diámetro. — *Milímetros.*
1	75,4
2	69,6
3	63,7
4	56,0
5	50,2
6	44,4
7	37,6
8	31,8
9	29,0
10	25,1
11	22,1
12	19,3
13	15,4
14	12,5

APLICACIONES DEL PLOMO.

El plomo en planchas se emplea en construcción para cubiertas de azoteas y para canalones y repisas. Los tubos se usan con muchísima frecuencia, sobre todo para distribuciones de agua y de gas. El plomo fundido se aplica también á rellenar huecos y establecer empotramientos sólidos.

El plomo sirve asimismo para preparar algunos compuestos de gran importancia en la pintura de construcciones, conviniendo citar entre ellos, el *albayalde*, el *minio* y el *litargirio*.

Forma multitud de aleaciones con otros metales, siendo suficiente indicar: 1.°, que los caracteres de imprenta se componen de 76 partes en peso de plomo y 24 de antimonio; 2.°, que las aleaciones más fusibles que se conocen y que se utilizaron para placas de las calderas de las máquinas de vapor, resultan de la mezcla, en propor-

ciones variables, de plomo, estaño y bismuto; 3.°, que la soldadura de plomeros, está compuesta de 2 partes de plomo y 1 de estaño, ó de partes iguales de ambos metales; y 4.°, que la de hojalateros, que es más fusible que la anterior, encierra 2 partes de estaño y 1 de plomo. También suele entrar el plomo, aunque no como elemento esencial, en el latón, el bronce y otras ligas.

Aparte de las aplicaciones reseñadas, que son las más interesantes para el Ingeniero, el plomo tiene otras muchas, usándose para forrar capacidades ú objetos destinados á contener líquidos, para la fabricación de balas y perdigones, para la de juguetes, etc., etc.

ZINC.

Propiedades.—El *zinc ó cinc* tiene un color blanco azulado; su estructura es cristalina, como lo demuestran las fracturas recientes, en las que se notan laminillas alargadas y de brillo muy intenso. Á la temperatura ordinaria es medianamente agrio, quebrándose al golpearlo con un martillo; esta ha sido la causa de que en la antigüedad no se empleara más que para la fabricación del latón, ignorándose la propiedad que tiene el zinc, á una temperatura de 100° á 150°, de ser en extremo maleable y dúctil, circunstancia que explica el aprecio que hoy se hace de este metal para multitud de usos, á que antes se destinaban otros más costosos y pesados. Si se eleva la temperatura á 200°, el zinc se hace extraordinariamente agrio; basta introducirlo en un mortero y golpear para que se reduzca á polvo muy tenue. Á 412° se funde y, por último, al calor blanco entra en ebullición y puede destilarse. Caldeado á 500°, en contacto con el aire, arde con llama blanca de brillo muy intenso, que se debe á que, al quemarse, los vapores de zinc dan lugar á la formación de óxido, compuesto completamente fijo, cuyas moléculas calentadas al blanco coloran y abrillantan la llama.

El zinc expuesto al aire libre, se oxida con rapidez (oxidación que reconoce por causa la presencia del anhidrido carbónico en la atmósfera), cubriéndose de una capa de óxido, en parte carbonatado, y tomando un color gris que resulta de la mezcla del metal con su óxido; la oxidación no es más que superficial, y constituye un verdadero manto protector. Con el zinc sucede, por tanto, lo contrario que con el hierro, pues en éste, una vez empezada la oxidación, avanza con rapidez y destruye por completo el metal, á causa de originarse un par eléctrico, cuyo elemento positivo es el hierro, que descompone el agua de la atmósfera, empleándose su oxígeno en oxidar nuevas moléculas de metal, y aumentando, por consiguiente, la potencia del par; mientras que en la oxidación del zinc, si bien se forma un par eléctrico, su elemento positivo es el óxido, que impide la acción del oxígeno sobre el otro elemento voltaico.

La densidad del zinc varía de 6,9 á 7,2, según que el metal esté fundido solamente ó laminado.

Menas.—Las menas por excelencia del zinc son los *carbonatos de zinc (calaminas)* y los *sulfuros (blendas)*; merced á métodos ideados en estos últimos tiempos, en los Estados-Unidos, para la extracción del zinc de sus *silicatos*, se consideran éstos también como menas, que no se utilizaban antes por no saberse separar económicamente el metal de las substancias con que estaba mezclado ó combinado. Otra mena, aunque menos importante que las anteriores, es el *óxido rojo de zinc ó espartalita*.

Entre las principales minas de zinc, se citarán en primer lugar, por estar enclavadas en España, las de calamina, en la provincia de Santander, que explota la sociedad anónima *Real Compañía Asturiana*, y que tiene establecidas las oficinas de beneficio en Arnao, cerca de Avilés (provincia de Oviedo): las minas de mayor importancia en Europa son las de Tarnowitz, en Silesia; las de Vieille-Montagne, en Bélgica, y finalmente, las que se encuentran en varias comarcas de Inglaterra.

METALURGIA DEL ZINC.

Tratamiento de la blenda.—La blenda se explota, por lo general, para extraer el zinc y el sulfato del mismo metal ó *caparrosa blanca*. Después de separada mecánicamente de la galena con la que suele estar mezclada, se somete á una calcinación al aire libre, con objeto de que se desagregue el mineral con facilidad, y luego se le hace sufrir una segunda torrefacción en hornos parecidos á las caleras, ó en reverberos; esta segunda calcinación se efectúa á fin de separar, en lo posible, el azufre que contiene la blenda, que se desprende en estado de anhidrido sulfuroso, convirtiéndose así el mineral en óxido y sulfato de zinc, reacciones expresadas en las fórmulas siguientes:

$$ZnS + 2\left(\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}\Big) = \left.\begin{matrix}SO^{2''}\\Zn''\end{matrix}\right\}O^2.$$

$$2ZnS + 3\left(\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}\Big) = 2SO^2 + 2ZnO.$$

La mezcla de sulfato y óxido se tritura y después se lava perfectamente, obteniéndose como resultado el óxido, pues el sulfato queda disuelto; una vez separado el óxido, basta reducirlo por el carbón en hornos análogos á los que se emplean en el tratamiento de la calamina, que se explicarán en seguida.

Tratamiento de la calamina—Se conocen tres métodos para extraer el zinc de la calamina, que son: el *silesiano*, el *inglés* y el *belga;* diferenciándose tan sólo en la disposición de los hornos y en las clases y modos de aplicar el combustible, pues es idéntico el principio en que se fundan. Se indicará brevemente el procedimiento belga, por ser el más importante y el que se aplica en España por la *Real Compañía Asturiana*.

La teoría del beneficio de la calamina consiste en transformarla en óxido de zinc, por la calcinación, y en reducir el óxido por medio del carbón.

Calcinación.—Para la torrefacción de la calamina se usan hornos de cuba de muchas clases, que varían de una fábrica á otra. Uno de los que mejores resultados producen en Bélgica es el representado en corte en la figura 287. Es de forma tronco-cónica y se calienta con dos hogares laterales alimentados con hulla, y cubiertos con una bóveda de la que parte una canal, en comunicación con el interior del horno por 20 aberturas, *o*, *o*, de un decímetro cuadrado de sección, dispuestas en cuatro ó cinco filas. En la parte inferior del horno hay practicadas dos aberturas rectangulares, *A*,*A*, destinadas á dar salida al mineral calcinado. Con objeto de facilitar la extracción, la plaza está constituida por dos placas de hierro colado, *f*,*f*, inclinadas á 45°, que dividen la columna descendente de mineral. La torrefacción es continua; la calamina se echa por la parte superior y se mezclan los pedazos gruesos con los pequeños, á fin de dejar paso á la llama. El mineral pierde el agua y el anhidrido carbónico; el óxido de zinc obtenido, se tritura y criba, y queda en disposición de someterlo á la acción del carbón.

Reducción.—El aparato de reducción (fig. 288) se compone de cuatro hornos yuxtapuestos; cada uno de ellos cubierto por un cañón cilíndrico, *A*, cuya arista superior dista $2^m,60$ de la plaza. La parte posterior del horno está formada por un muro, *bd*, algo inclinado; la anterior, *ac*, está completamente abierta. El hogar, *F*, se encuentra en la zona inferior; hasta hace algunos años, se cubría con una bóveda, como indica la figura, y la llama penetraba en el horno por cuatro aberturas *o*, *o;* pero en el día no se construye bóveda, y el hogar y el vientre del horno están en comunicación directa. Los productos de la combustión, después de haber pasado por el compartimiento *A*, salen por tragantes, *u*, *u*, y van á parar á una chimenea provista de registros, *T*, *T*, para poder activar más ó menos el tiro. En cada horno se colocan unos 42 crisoles de arcilla refractaria, de forma cilíndrica, *bd* (fig. 289), cerrados por un extremo y abiertos por el otro, y cuyas dimensiones son $1^m,10$ de longitud, $0^m,15$ de diámetro y $0^m,05$ ó $0^m,04$ de espesor. Al extremo abierto del crisol se adapta un tubo cónico de hierro fundido, *cd* (fig. 290), que mide $0^m,40$ de longitud y hace veces de condensador, y finalmente, á este tubo se une una alargadera de palastro, *ef* (fig. 291), tal que en su extremo más delgado tiene un calibre de $0^m,02$. Los crisoles se acondicionan en el horno (fig. 288), en ocho filas horizontales, para lo cual la pared posterior, *bd*, presenta ocho banquetas salientes, en las que se apoyan las culatas de los crisoles; en el paramento anterior del horno, hay dispuestas otras tantas placas de hierro colado sostenidas por ladrillos, que sirven para recibir los extremos abiertos de los crisoles. Se tiene cuidado de dar á éstos una pequeña inclinación hacia adelante.

Para poner en marcha un horno nuevo, se empieza por tapiar la cara anterior con fragmentos de ladrillos y de crisoles viejos cogidos con mortero. Se enciende un fuego poco intenso, que se aumenta gradualmente, y se deja así unos cuatro días, al cabo de los cuales se va demoliendo la pared anterior y colocando los crisoles, que de antemano se han calentado al rojo en un horno especial; se tapan con mortero los intersticios que queden entre los crisoles y el muro, y por último, se adapta á cada uno de aquellos su condensador de hierro fundido. Una vez dispuestos los crisoles en el horno, se introduce en ellos una pequeña cantidad de mineral y de carbón; sucesivamente se va aumentando la carga, y hasta después de algunos días no empieza á marchar el horno con regularidad. La calamina se mezcla con carbón y un poco de agua en cajas de madera; la carga se compone de 500 kilogramos de mineral calcinado y 250 de hulla seca pulverizada, que se unen íntimamente con una pala de hierro. Se limpian bien los crisoles, quitando los residuos de operaciones

anteriores; se echa la mezcla con palas de palastro (fig. 292), de forma semicilíndrica y mango bastante largo; y cuando ha terminado la carga, se activa el fuego, y se desprende pronto gran cantidad de óxido de carbono, que arde con llama azul al salir por los condensadores. Al cabo de algún tiempo, la llama adquiere más brillo y toma un color blanco verdoso, apareciendo humos blancos, lo que indica que empieza entonces la destilación del zinc, y en ese momento es cuando se adaptan las alargaderas de palastro. Por mucho cuidado que se ponga en la marcha de la operación, para que todo el horno adquiera próximamente la misma temperatura, el calor es siempre menor en la parte alta; por esta razón se tiene cuidado de colocar en los crisoles superiores el mineral más fácil de reducir, que suele ser el procedente de *calaminas rojas*, que están muy cargadas de óxido de hierro, y en los crisoles bajos se introduce el producto de la calcinación de *calaminas blancas*, que tienen menos cantidad de aquel óxido.

Después de transcurridas unas dos horas, un operario quita las alargaderas y las sacude encima de una vasija de palastro, separándose así una substancia muy tenue, que recibe en metalurgia los nombres de *polvos* ó *cadmias*, compuesta de zinc y de óxido de zinc, y que se añade al mineral destinado á las reducciones siguientes. Entonces otro operario aproxima á la abertura de cada condensador una cuchara ó cazo de palastro, mientras que el primero introduce en los crisoles una varilla de hierro, con la que hace salir el zinc destilado, el cual se halla acumulado, en estado líquido, en la parte inferior, procurando al propio tiempo que se separen las gotas de zinc adheridas á las paredes del condensador. El zinc líquido recogido en los cazos está cubierto de crasas metálicas formadas principalmente de óxido; se quitan con esmero, y se vierte el metal en moldes, que le dan la forma de tortas rectangulares, de 30 á 35 kilogramos de peso. En seguida se vuelven á colocar las alargaderas de palastro y se continúa la operación otras dos horas, al cabo de las cuales se extrae el zinc, y así se continúa hasta que termina la campaña. Se procede luego á limpiar los crisoles y á reemplazar los que se hayan inutilizado.

La calamina da por este tratamiento 31 por 100 de zinc y 11 á 12 por 100 de residuos, que se podrían aprovechar elevando más

la temperatura del horno; pero esto tendría el inconveniente de que los crisoles de arcilla se deformarían con mucha rapidez.

Por lo general, funcionan los hornos dos meses consecutivos: transcurrido este período, hay que parar los trabajos para componer los hogares.

TRABAJO DEL ZINC.

Zinc fundido.—El zinc que sale de los hornos de reducción es de primera fusión, y hay que volverlo á derretir para expenderlo en el comercio.

La segunda fusión se hace en reverberos de plaza elíptica y algo inclinada, parecidos á los que se usan para el beneficio de la galena por reacción. En el punto más bajo de la plaza se dispone un crisol semiesférico, en que se recoge el metal fundido. Éste pasa desde el crisol á otros moldes que le dan la forma de tortas, de espesor proporcionado.

Zinc laminado.—Las placas de zinc de segunda fusión, se someten de ordinario á la acción de laminadores para darles la textura y el espesor que se desee; pero siendo el zinc bastante agrio á la temperatura ordinaria, es necesario caldearlas antes en un segundo horno, que por lo común va unido al en que se verificó la última fusión, utilizándose para elevar la temperatura los gases calientes procedentes de éste. Cuando las placas están á poco menos de 100°, se hacen pasar por laminadores de hierro colado: en el momento que tienen el grueso correspondiente, se cortan en hojas rectangulares de la anchura y longitud que convenga; los desperdicios se funden de nuevo.

Clasificación de las planchas.—El zinc en planchas se distingue en el comercio con números, que dependen de los espesores. La mayor parte de las fábricas clasifican las planchas en 26 números: el núm. 1, tiene $0^{mm},05$ de espesor; el grueso aumenta con los números, siendo el del 26 igual á $2^{mm},78$. El núm. 14, de $0^{mm},87$ de espesor, es el más empleado en la construcción de cubiertas; los 15, 16 y 17, cuyos gruesos respectivos son $0^{mm},96$, 1,11 y 1,23, se usan principalmente para forros de buques.

Por lo común, las planchas de zinc tienen 2 metros de largo y un

ancho variable de $0^m,50$ á $0^m,80$: sin embargo, las destinadas á forros de embarcaciones son más pequeñas, pues su largo es de $1^m,15$ á $1^m,50$ y la anchura de $0^m,35$ á $0^m,40$: se comprende que el hacerlas de menores dimensiones es con objeto de que las placas se adapten bien á la curvatura de los cascos de los buques.

En el estado siguiente se consignan todos los elementos relativos á dimensiones y pesos de las planchas de zinc preparadas por la *Real Compañía Asturiana:*

Números.	Espesor de las chapas de zinc. — *Milímetros.*	DIMENSIONES Y PESOS DE LAS PLANCHAS. PARA FORRO DE BUQUES. Ancho, $0^m,35$. Largo, 1,15.	PARA FORRO DE BUQUES. Ancho, $0^m,40$. Largo, 1,30.	PARA CUBIERTAS Y OTROS USOS. Ancho, $0^m,50$. Largo, 2,00.	PARA CUBIERTAS Y OTROS USOS. Ancho, $0^m,65$. Largo, 2,00.	PARA CUBIERTAS Y OTROS USOS. Ancho, $0^m,80$. Largo, 2,00.	Peso aproximado del metro cuadrado.
1	0,05	»	»	0kg,35	0kg,45	0kg,56	0kg,35
2	0,10	»	»	0 , 70	0 , 91	1 , 12	0 , 70
3	0,15	»	»	1 , 05	1 , 36	1 , 68	1 , 05
4	0,20	»	»	1 , 40	1 , 82	2 , 24	1 , 40
5	0,25	»	»	1 , 75	2 , 27	2 , 80	1 , 75
6	0,30	»	»	2 , 10	2 , 73	3 , 36	2 , 10
7	0,35	»	»	2 , 45	3 , 18	3 , 92	2 , 45
8	0,40	»	»	2 , 80	3 , 64	4 , 48	2 , 80
9	0,45	»	»	3 , 15	4 , 10	5 , 04	3 , 15
10	0,51	»	»	3 , 57	4 , 64	5 , 71	3 , 57
11	0,60	»	»	4 , 20	5 , 45	6 , 72	4 , 20
12	0,69	»	»	4 , 83	6 , 28	7 , 72	4 , 83
13	0,78	»	»	5 , 46	7 , 10	8 , 74	5 , 46
14	0,87	»	»	6 , 09	7 , 92	9 , 74	6 , 09
15	0,96	2kg,70	3kg,49	6 , 72	8 , 74	10 , 75	6 , 72
16	1,11	3 , 12	4 , 04	7 , 77	10 , 10	12 , 43	7 , 77
17	1,23	3 , 46	4 , 48	8 , 61	11 , 19	13 , 78	8 , 61
18	1,36	3 , 83	4 , 95	9 , 52	12 , 37	15 , 23	9 , 52
19	1,48	4 , 16	5 , 39	10 , 36	13 , 47	16 , 57	10 , 36
20	1,68	4 , 73	6 , 11	11 , 76	15 , 29	18 , 82	11 , 76
21	1,85	»	»	12 , 95	16 , 83	20 , 72	12 , 95
22	2,02	»	»	14 , 14	18 , 38	22 , 62	14 , 14
23	2,19	»	»	15 , 33	19 , 93	24 , 53	15 , 33
24	2,37	»	»	16 , 59	21 , 57	26 , 54	16 , 59
25	2,58	»	»	17 , 92	23 , 30	28 , 67	17 , 92
26	2,78	»	»	19 , 46	25 , 30	31 , 14	19 , 46
Superficie de cada plancha.		$0m^2,40$	$0m^2,52$	$1m^2,00$	$1m^2,30$	$1m^2,60$	»

APLICACIONES DEL ZINC.

El zinc en planchas se emplea en construcción, como ya se ha visto, para forro de barcos y cubiertas de edificios, y puede reemplazar al plomo para revestir azoteas, para canalones, repisas, etc. Con el metal laminado se preparan también tubos de diámetro bastante considerable, que se usan para bajadas de aguas pluviales, conducción de aguas sulfurosas y otras aplicaciones.

El zinc forma multitud de aleaciones, debiéndose citar en primer término el latón, como se indicó al hablar del cobre, y en segundo el bronce, en cuya composición suele entrar, por más que no sea elemento esencial. Se emplea asimismo el zinc para cubrir otros metales fácilmente oxidables y protegerlos contra la oxidación, sobre todo el hierro, que, cubierto de una delgada capa de zinc, da lugar al *hierro galvanizado,* que más adelante se estudiará.

El zinc se aplica también á la preparación del óxido, que en pintura recibe el nombre de *blanco de zinc.*

Además, este metal tiene bastante importancia en la industria para forrar el interior de cajas destinadas á contener líquidos; y para la construcción de baños y de una porción de objetos domésticos y de lujo, como candelabros, relojes de sobremesa, pies de lámpara, figuras de adorno, etc., etc. Con barnices á propósito, el zinc imita perfectamente al bronce.

ESTAÑO (1).

Propiedades.—El *estaño* tiene un color blanco ligeramente azulado y un brillo bastante parecido al de la plata; es de sabor y olor desagradables, blando, algo dúctil y en extremo maleable, hasta el punto de hacerse con él láminas del grueso de una hoja de papel, que se conocen en el comercio con el nombre de *papel de estaño.* Su densidad no pasa de 7,5 cuando está fundido, pero puede elevarse un poco por la acción de martinetes y laminadores; el estaño del comercio contiene otros metales que le hacen más denso; así es, que de ordinario su peso específico se acerca á 7,6 y puede juzgarse de su pureza por la densidad. Se funde á la temperatura de 230°; es poco volátil y tiene estructura cristalina, á la que debe el sonido especial, ó *grito del estaño*, que se produce al doblar las barritas. La constitución cristalina se evidencia atacando la superficie del estaño con un ácido, que pone los cristales al descubierto, y al reflejarse en ellos la luz, da lugar al fenómeno de los anillos coloridos. El grito del estaño sirve para apreciar su pureza, pues el sonido es tanto más claro cuanto mayor sea aquella.

El ácido nítrico ataca al estaño, convirtiéndolo en ácido estánico, que no es soluble en dicho reactivo; el único metal que goza de una propiedad semejante es el antimonio. El estaño puro presenta al solidificarse una superficie lisa por completo, lo cual no sucede cuando encierra substancias extrañas, que le hacen tomar aspecto cristalino. Á la temperatura ordinaria, el estaño no se altera sensiblemente, expuesto al aire libre.

Á causa de su gran maleabilidad, el estaño no puede pulverizarse

(1) Por más que científicamente deba clasificarse el *estaño* entre los metaloides, en sus aplicaciones se considera como metal, lo que justifica que se estudie en este sitio.

directamente, pero se convierte en polvo fundiéndolo y agitándolo con fuerza, mientras se enfría.

Menas.—La mena principal del estaño es el *ácido metastánico*, llamado también *casiterita*, cuya fórmula es SnO^2. Se halla asimismo el estaño en combinación con el azufre y otros sulfuros en la *pirita de estaño*, cuya fórmula viene á ser

$$Cu^2S,\ SnS^2 + (FeS,\ ZnS)^2\ SnS^2.$$

La casiterita se extrae de filones ó capas, ó de terrenos de aluvión; la que proviene de estos últimos es mucho más pura que la de filones, pues aquella ha estado durante largo tiempo sometida á la acción del agua, sufriendo, por tanto, un lavado natural.

Los principales criaderos de menas de estaño radican en Cornwall (Inglaterra), en Sajonia, en Bohemia y en Banca y Malacca (India), siendo muy notables por su pureza los estaños de esta última región y algunos de los ingleses.

METALURGIA DEL ESTAÑO.

Preparación mecánica.—Los minerales de estaño se someten á la acción de bocartes, después de bien pulverizados para separar mecánicamente las gangas. La clasificación se hace en muy buenas condiciones, á causa de la gran diferencia que hay entre las densidades de la ganga y del ácido metastánico, hasta el punto de que puede aplicarse con ventaja á arenas que no contengan más que 0,5 por 100 de estaño.

El mineral obtenido, en el caso más desfavorable, esto es, cuando procede de filones, se compone de ácido metastánico y de algunas combinaciones metálicas densas, como sulfuros, arsenisulfuros, óxidos de hierro cristalizados, etc. Se le somete á una torrefacción al aire libre ó en hornos, que no ataca al ácido y oxida y desagrega parcialmente á los sulfuros y arsenisulfuros; de manera que si se vuelve á llevar el mineral á los bocartes, se reducen á polvo impalpable las substancias calcinadas, y el ácido metastánico apenas experimenta alteración. Un lavado en mesas durmientes ó de percusión, basta para recoger un mineral, que da á veces más de 50 por 100 de esta-

ño metálico, aunque fuesen pobres las materias con que se empezó á operar.

Reducción.—En Sajonia se funde el mineral en un horno de manga (fig. 295), cuya altura es de 5 metros próximamente. La cuba está formada por un prisma recto de base trapecial, *A*, que tiene la camisa constituída por losas de granito; el horno queda abierto por la parte superior, y la plaza, *D*, que es de granito ó pórfido, presenta una caída hacia la parte delantera, donde está el orificio de sangría, que se tapa con brasca. Las materias fundidas van á parar á un antecrisol *B*, formado por losas vestidas también de carbonilla; el antecrisol comunica por su parte inferior con una caldera, *C*, de hierro colado. En la pared posterior del horno hay una tobera, que inyecta por *o*, de 5 á 6 metros cúbicos de aire por minuto. Por último, encima del horno se colocan unas cámaras de condensación para recoger los polvos arrastrados mecánicamente por los productos de la combustión.

Descrito ya el horno, se estudiará la marcha de la reducción. Se introducen en la cuba el mineral y el carbón, por capas, añadiendo como fundente escorias de operaciones anteriores, en proporción de 25 por 100 de la mena; el óxido de carbono que se produce basta para reducir la casiterita. Las gangas son, por lo general, muy fusibles y forman escorias pastosas, que, juntamente con el estaño fundido, se reciben en el antecrisol. Se espuman las escorias con frecuencia, y en el momento que aquella capacidad está llena de metal líquido, se abre el agujero de colada y pasa el estaño fundido á la caldera. Se agita con una rama de madera verde, que se carboniza parcialmente en el líquido caliente, produciéndose una ebullición, debida á un desprendimiento de gases, que hace subir á la superficie las crasas diseminadas en el metal, al mismo tiempo que reduce al estado metálico al óxido de estaño, que pudiera estar disuelto. Cuando el metal se halla á una temperatura poco superior á la de su fusión, se saca en cazos y se vierte en los moldes para formar los *lingotes* ó *galápagos de estaño*, que suelen llamarse también *salmones*. El metal menos denso, que constituye las capas superiores, es el más puro; el que ocupa la parte inferior encierra la casi totalidad de los cuerpos extraños.

En Inglaterra se somete el mineral que proviene de arenas estaní-

feras á un procedimiento muy semejante al que se acaba de exponer. Los hornos de cuba son más altos que los empleados en Sajonia, llegando á tener una elevación de 5 y 6 metros. No se introduce en los moldes más que el estaño contenido en las capas superiores del crisol, fundiendo de nuevo todo el resto. Á veces se calientan los lingotes á una temperatura superior á 100°, y se dejan caer desde cierta altura sobre un suelo enlosado; el metal, que es muy quebradizo á aquel grado de calor, se divide en pequeños fragmentos cristalinos, obteniéndose así el *estaño en lágrimas*, más puro y apreciado que el de galápagos. El estaño fundido procedente de la India, se expende á menudo en forma de pirámides cuadrangulares truncadas, que se llaman *sombreros;* el metal es muy puro y tan estimado, por lo menos, como el estaño en lágrimas.

Afinación.—El mineral de filones tiene muchas más impurezas que el que proviene de terrenos de aluvión; así es que el estaño que resulta del beneficio de aquellas menas, se somete á una afinación, que consiste en calentar lentamente el metal, en la plaza de un horno reverbero. El estaño es el primero que se funde, y como la plaza está inclinada hacia el canillero, se puede recoger el líquido en un crisol ó caldera; en la plaza queda una aleación de estaño y los demás metales. Este afino *por licuación*, hay que repetirlo á veces, si se quiere preparar estaño muy puro.

TRABAJO DEL ESTAÑO.

Estaño en barras.—El estaño se halla con frecuencia en el comercio en forma de barritas. Para prepararlo no hay más que fundir el estaño y verter el líquido en moldes tubulares del tamaño que se desee.

Papel de estaño.—El estaño se utiliza también laminado en hojas sumamente delgadas. El papel de estaño se fabrica por medio de martinetes, no empleando más que metal de primera calidad, que se empieza por moldearlo en placas, las cuales se someten á la acción de martinetes hasta reducir su espesor á un milímetro. En seguida, se superponen 8 ó 10 de estas hojas y se continúa batiéndolas; cuando se han adelgazado bastante, se cortan en dos pedazos, se

superponen las mitades y se vuelven á martillar; así se continúa hasta que se hayan superpuesto unas cien hojas, que acaban por reducirse al espesor de un papel muy tenue.

Clasificación del papel de estaño.—El papel de estaño se clasifica en el comercio con los números del 1 al 5, con arreglo á su grueso. El estado siguiente expresa el número de hojas que entran en un kilogramo, según los números y dimensiones que ordinariamente se dan á las láminas:

Número comercial del papel...	DIMENSIONES ORDINARIAS DE LAS HOJAS.					
	0m,50×0m,60 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.	0m,50×0m,40 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.	0m,33×0m,50 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.	0m,32×0m,42 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.	0m,21×0m,23 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.	0m,19×0m,21 — Número de hojas que entran en 1 kilogramo.
1	26	40	48	60	»	»
2	32	48	56	70	»	»
3	38	56	64	80	»	»
4	44	64	72	90	»	»
5	50	72	80	100	375	400

Papel metálico de plomo y estaño.—Se fabrica una especie de papel metálico, colocando una chapa delgada de plomo entre dos hojas de estaño, que se unen íntimamente á aquella, sometiendo las tres á la acción de laminadores lisos. Este papel parece que produce buen resultado para cubrir con él los muros, y resguardar por completo las habitaciones de la humedad ó emanaciones salitrosas de las fábricas interiores.

APLICACIONES DEL ESTAÑO.

El estaño puro en forma de barritas, sólo se emplea en los laboratorios de química. El papel de estaño se usa mucho, en lugar del ordinario, para envolver los objetos que deban preservarse de las influencias atmosféricas y conservar así su estado higrométrico. El papel de plomo y estaño se aplica á los fines que ya se han indicado.

Las aleaciones de estaño tienen importancia grandísima en la in-

dustria, pues entra aquel metal en varias de las que se nombraron en artículos anteriores; en este caso se encuentran el bronce, muchas veces el latón, las soldaduras y las ligas fusibles. Á estas aleaciones debe añadirse la amalgama de estaño con que se azogan los espejos.

También se emplea en grande escala para proteger metales fácilmente oxidables. Los utensilios de cobre que se usan en la preparación de alimentos, se estañan por su parte interior, pero el ejemplo más notable es la estañadura de chapas de hierro, que da lugar á la *hoja de lata*.

Descubriendo la textura cristalina, en la capa exterior de la hoja de lata, por medio de ácidos, se preparaba hace algunos años el llamado *muaré metálico*, por la semejanza de sus aguas y reflejos con los de la tela de aquel nombre. Con este material se fabricaban petacas, cajas de rapé y de música, etc., á las que se daba color y un barniz transparente que dejaba ver las cristalizaciones; en el día son poco comunes estos objetos.

ALEACIONES Ó LIGAS METÁLICAS.

De la multitud de aleaciones que se emplean en la industria, sólo se darán á conocer: 1.°, el *latón* y los *bronces*, por su importancia en las construcciones y en la maquinaria; 2.°, las que resultan de extender sobre un metal una capa delgada de otro, como la *hoja de lata* y el *hierro galvanizado*.

LATÓN.

Propiedades.—El *latón* es una aleación, en proporciones muy diversas, de cobre, zinc, estaño, plomo y algunos otros cuerpos, siendo los dos primeros los elementos esenciales. El latón es de color amarillo, que se asemeja más ó menos al del oro, según la cantidad de cobre que contiene; su densidad es muy variable, pues depende de la composición, oscilando entre 8,4 y 8,9. Es más duro que el cobre, propiedad á que debe principalmente su aplicación, pues éste es demasiado blando para estirarlo en hilos y extenderlo en planchas. El latón es dúctil, maleable, se funde con facilidad y se moldea bien; á diferencia del acero, se ablanda calentándolo al rojo y enfriándolo de repente por la inmersión en agua. Expuesto al aire, se cubre de una capa verdosa formada principalmente de hidrocarbonato cúprico; los objetos que no pueden limpiarse con frecuencia y que han de estar sometidos á las influencias atmosféricas, se enlucen con un betún formado de laca disuelta en alcohol y colorido con un poco de sangre de drago. Cuando se destina el latón á piezas que hayan de tornearse, es indispensable añadir al cobre y al zinc algo de plomo, á veces más del 2 por 100, porque de lo contrario el metal

embota la lima. Una corta cantidad de estaño facilita también el trabajo del latón.

Preparación.—Se prepara el latón fundiendo cobre en granalla con zinc procedente de recortes de planchas. La fusión se verifica en crisoles y hornos reverberos; aquéllos son de arcilla refractaria y forma cónica, pudiendo contener cada uno hasta 38 kilogramos de latón. En un reverbero de sección cuadrada ó circular, se colocan 4 ú 8 crisoles; por lo general, se usa como combustible cok. Fundido el metal, se moldea en lingoteras de hierro si se ha de laminar, y en arena si se han de construir objetos fundidos.

Aplicaciones.—El latón se emplea para el forro de barcos por casi toda la marina mercante inglesa; para piezas de máquinas; para multitud de objetos en construcciones urbanas, como llamadores, molduras, etc.; para construir alambres, que reemplazan á los ordinarios de hierro, cuando por cualquier circunstancia no conviene usar este metal; y en otra porción de aplicaciones menos importantes para el Ingeniero, como fabricación de objetos de uso doméstico ó de adorno, alhajas falsas, alfileres, etc., etc.

Á continuación se especifican las composiciones de diversas clases de latón; las dos primeras deben considerarse como términos medios. Sin embargo, las diferencias de unas á otras no son muy grandes, y puede decirse que, en general, la relación que existe entre el cobre y el zinc contenidos en el latón, no se aparta mucho de la de 3 á 2.

	PROPORCIONES EN PESO.			
	Cobre.	Zinc.	Estaño.	Plomo.
Latón para objetos torneados.	64	36	0,5	2,5
Idem en alambres..........	65	34	0,5	0,5
Idem para forros de barcos (metal de Muntz)..........	60	40	»	»

Metal delta.—El *delta* es una aleación formada de cobre, zinc y hierro, preparada muy recientemente por D. Alejandro Dick, de Londres, y que no difiere del latón ordinario más que en contener cierta cantidad del último metal nombrado. Se sabía ya hace tiempo

que el latón con pequeñas cantidades de hierro gozaba de mejores condiciones que el ordinario, pero no se había podido llegar á la fabricación industrial de esta aleación, porque en el momento que se trataba de obtener el producto en grande, resultaba un metal falto de homogeneidad. Las investigaciones de Dick prueban que el inconveniente desaparece, empezando por preparar una combinación, en proporciones definidas, de hierro y zinc, y añadiendo después cobre. Á este efecto, se calientan los crisoles que contienen el zinc fundido, en hornos de temperatura constante, cuidando de que no llegue á volatilizarse el metal, y se añade en seguida el hierro, en la proporción aproximada de 5 por 100. Á la liga de zinc y hierro se agrega después la cantidad de cobre ó de cobre y zinc que se considere oportuna, obteniéndose así un metal perfectamente homogéneo.

Esta aleación es, con relación al latón, lo que el acero respecto al hierro: las principales ventajas del delta son la resistencia y la elasticidad. Aunque el nuevo metal se aplica ya á la construcción naval, á la ingeniería y á la maquinaria, su agradable aspecto ha hecho que desde un principio se use en la fabricación de objetos de adorno y de escritorio, guarniciones de tiro, etc.

BRONCES.

Propiedades.—Los metales que entran en la preparación de los *bronces ordinarios*, son casi los mismos que en el latón, sólo que en aquellos los elementos esenciales son cobre y estaño, y en éste cobre y zinc.

El bronce, que se considera como el primer metal de que hicieron uso las sociedades humanas, es de composición muy variada y con ella experimenta cambios notables en su apariencia y condiciones físicas. El bronce tiene un color amarillo tanto más subido cuanto mayor es la dosis de cobre que encierra; es más duro y tenaz que aquel metal y bastante más fusible; su textura es de grano fino, cuando está bien fabricado; puede recibir un hermoso pulimento. Como regla general, su peso específico es mayor que el término medio del de los metales que lo componen; la densidad del bronce empleado en

artillería oscila entre 8,4 y 8,9. Expuesto á las influencias atmosféricas, se cubre de una cutícula oxidada, de color verde aceitunado, que recibe el nombre de *pátina*, y que es muy perceptible en las estatuas colocadas al aire libre; la pátina da á éstas un aspecto muy agradable, así es que se procura formarla artificialmente en muchos bronces modernos, empleando disoluciones algo ácidas, que se extienden en capas muy delgadas sobre las estatuas, columnas, etc. El bronce, lo mismo que el latón, se ablanda cuando, después de calentado al rojo, se enfría con rapidez en el agua.

Por lo demás, ya se ha indicado que sus caracteres físicos varían con su composición; á medida que aumentan las proporciones de estaño adquieren los bronces ordinarios más dureza y se hacen más agrios; en cambio, forzando la cantidad de cobre, resultan metales más tenaces, de mayor ductilidad y que pueden moldearse en mejores condiciones. Es claro que convendrá que dominen unas ú otras propiedades, según los objetos que se quiera construir.

Fabricación del bronce.—Se harán breves indicaciones sobre este particular. El bronce destinado á campanas, á piezas de artillería y á objetos que hayan de sufrir grandes esfuerzos, se prepara, por lo general, en reverberos de plaza circular ó elíptica, y á veces rectangular; el metal líquido se vierte en moldes, dispuestos de un modo algo semejante al que se explicó al hablar de la fundición del hierro en greda. Respecto á la fabricación de cañones, conviene advertir que en España se elabora de antemano el bronce y se forman con él *torales*, que se funden después para el moldeo de las piezas.

El bronce usado en estatuas y objetos de ornamentación es muy común prepararlo empezando por hacer dos aleaciones, una de cobre y zinc y otra de cobre y estaño, que se funden luego juntas para obtener la triple que debe constituir el metal; la adición de zinc hace que el bronce se preste bien al trabajo de la lima y el cincel.

Durante mucho tiempo se procuró fundir de una vez las estatuas de gran tamaño, los bajos relieves, etc., y la dificultad de que el metal se mantuviera perfectamente derretido al correr por todas las partes del molde, hacía que con mucha frecuencia se estropeasen piezas grandes y se destruyeran moldes cuya construcción era costosa. En el día el moldeo de aquellos objetos se hace en trozos pequeños, que

se sueldan después con bronce más fusible y se sujetan con colas de milano: buen ejemplo presentan los leones que decoran el pórtico del Congreso, uno de los cuales se fundió en 2.271 piezas, sin contar las colas, que se vaciaron aparte y se soldaron después de hechos los leones. El moldeo se verifica en arcilla ó arena, especialmente en esta última, debiendo tener gran esmero en la elección de los trozos, ó lo que pudiera llamarse el *despiezo*, para que las uniones se perciban poco y el modelo no pierda su carácter.

Aplicaciones.—Ya se han indicado al tratar de la obtención del bronce muchas de sus aplicaciones. Sin embargo, los últimos adelantos introducidos en la fabricación del hierro fundido y en especial del acero, le han hecho perder bastante importancia. Á pesar de todo, el bronce se usa en la actualidad para hacer monedas, campanas, estatuas, columnas, balaustradas, fuentes, objetos de lujo y piezas sujetas á grandes rozamientos, como cojinetes, tejuelos, apoyos de máquinas, etc. También se emplea para la construcción de los espejos metálicos de los telescopios.

Composición de los bronces ordinarios.—La composición de los bronces, según ya se apuntó, es en extremo variable, y fácilmente se comprende que debe ser así, en atención á la heterogeneidad de los objetos á que se aplica. Claro es, por ejemplo, que para espejos de telescopio convendrá forzar la proporción de estaño, pues aquellos han de ser muy duros para adquirir un pulimento perfecto, importando poco que el metal no sea tenaz; tampoco necesita tener esta última propiedad, en alto grado, el bronce para campanas, pero ya exige más condiciones de fusibilidad, y sobre todo de sonoridad; el bronce para cañones y maquinaria requiere gran resistencia, á la par que propiedades que permitan trabajarlo bien, lo que justifica el emplear toda la cantidad de cobre que sea compatible con la dureza que necesita y que le comunica el estaño; por último, el metal estatuario sólo ha de satisfacer á los requisitos de ser de aspecto agradable, prestarse bien al trabajo y tener bastante fluidez para llenar los moldes y reproducir los menores detalles, circunstancias todas que explican que el metal se aproxime al latón en las dosis de sus elementos.

El siguiente cuadro comprende las proporciones medias centesimales de algunos bronces:

	PROPORCIONES EN PESO.			
	Cobre.	Estaño.	Zinc.	Plomo.
Bronce para estatuas.......	91,4	1,7	5,5	1,4
Idem para campanas.......	75	25	»	»
Idem para cañones.........	90,1	9,9	»	»
Idem para cojinetes........	88	12	»	»
Idem para instrumentos cortantes..................	87,7	12,3	»	»
Idem para monedas........	95	4	1	»
Idem para espejos metálicos.	67	33	»	»

Los guarismos del cuadro precedente están en armonía con las observaciones que se han hecho respecto á la composición que han de tener los bronces, según la obra á que se destinan. Los números referentes al bronce estatuario, son el término medio de los que resultan para las estatuas construídas en Versalles en el siglo XVII, por los hermanos Keller, célebres fundidores suizos. Las proporciones del metal para campanas son ordinariamante las que señala el cuadro, pero debe advertirse que es frecuente añadir plomo y zinc, hasta cerca de 10 por 100 entre ambos; así se hace hoy en Inglaterra, por más que autoridades en la materia lo conceptúen perjudicial y sólo ventajoso para los fundidores. La aleación legal de cobre y estaño para el bronce de cañones es en Francia y en España, de 100 del primer metal por 11 del segundo, números que están en la misma relación que los señalados en el cuadro. La moneda fraccionaria que se usa en España desde 1864, es de bronce y tiene la ley que se ha marcado.

Bronce fosforoso.—En 1870 se han hecho estudios en Bélgica por Montefiori y Kunzel sobre el resultado de añadir fósforo á la aleación de cobre y estaño, continuando los practicados en 1859 por Ruolz y Fontenay, en Francia. Parece resultar de los experimentos hechos en la fundición de cañones de Lieja, que la dureza del bronce fosforoso es próximamente triple que la del ordinario, y que presenta más elasticidad y estructura mucho más compacta y homogénea. De los trabajos realizados por Ruolz y Fontenay, se desprende que el bronce fosforoso debe prepararse moldeando en arena el fosfuro de cobre y añadiendo unas cuantas milésimas al bronce ordinario.

No se sabe á punto fijo la composición de los metales ensayados en Lieja, pero de los datos presentados por los autores, se deduce que las aleaciones más convenientes para obtener la resistencia máxima son las siguientes:

Cobre................................	93,8	94,8
Estaño................................	4,7	2,6
Fósforo................................	1,5	2,6

Además de aplicar el bronce fosforoso á la construcción de cañones, se han fabricado con él cojinetes, guías y otras piezas de maquinaria sujetas á grandes rozamientos.

Bronce de aluminio.—Esta aleación, compuesta esencialmente de cobre y aluminio, es muy maleable y presenta bastante dureza para recibir hermoso pulimento, tomando entonces un color que se parece mucho al del oro. Tiene, sin embargo, el inconveniente de oxidarse pronto y perder el brillo, pero se remedia agregando una corta cantidad de oro ú otros metales. Se emplea en particular para objetos de adorno y escritorio: su composición es muy variable, y bastará conocer las dos siguientes:

Cobre................................	90	92,5
Aluminio................................	7,5	7,5
Oro................................	2,5	»

ALEACIONES DE METALES SUPERPUESTOS.

Objeto.—La aplicación de un metal sobre otro, tiene muchas veces por objeto resguardar la superficie de los que son fácilmente oxidables ó atacables por los agentes á que hayan de estar sometidos, con otros que no lo sean tanto y puedan evitar ó retardar la destrucción de los primeros. Ejemplo presenta la estañadura interior de las vasijas de cobre destinadas á preparar alimentos; pero entre los compuestos obtenidos por superposición de metales, los únicos que tienen importancia en las construcciones son la *hoja de lata* y el *hierro galvanizado*.

Los procedimientos que se van á reseñar difieren de los que se em-

plean para dorar y broncear, que más adelante se estudiarán, en que éstos necesitan un cuerpo intermedio ó un agente para que se verifique la unión mecánica de los metales, y aquellos dan lugar á verdaderas aleaciones, que se verifican entre los dos cuerpos que se ponen en contacto.

Desoxidación.—La superficie del metal sobre que se ha de aplicar otro, debe estar bien desoxidada y limpia para que tome el baño necesario. Con ese objeto se emplea casi siempre para el hierro una disolución de $\frac{1}{6}$ de ácido clorhídrico en agua. El hierro tiene más afinidad que el hidrógeno con el cloro, y en cambio el hidrógeno se combina más fácilmente con el oxígeno; se comprende, pues, que una parte del óxido de hierro que cubre á la pieza se descomponga, y que el resto deje de estar adherido con fuerza al metal y pueda hacerse saltar en escamas. La reacción relativa á la descomposición del óxido, se puede formular del modo siguiente:

$$FeO + 2HCl = FeCl^2 + H^2O.$$

Algunas veces, sin embargo, se usa un cloruro doble de zinc y amonio, propuesto por Golfier-Besseyre, que se obtiene sencillamente por la combinación de una molécula de cloruro de zinc y otra de sal amoniaco. Según el inventor de este método, se explica la acción de la sal por el hecho de que el zinc posee más afinidad con el oxígeno que con el cloro, al paso que los demás metales, incluso el hierro, tienen más tendencia á combinarse con éste que con aquel metaloide. Por consiguiente, al someter el hierro á la acción del calor, después de haberle cubierto de una capa de la sal doble, el óxido que contuviera la pieza, en contacto con el cloruro de zinc á que se reduce la sal por la volatilización del cloruro amónico, produciría la reacción:

$$ZnCl^2 + FeO = FeCl^2 + ZnO.$$

Sin negar la exactitud de la explicación dada por Golfier-Besseyre, parece que es incompleta, pues de no producirse más fenómeno que el indicado, holgaría la sal amoniaco y pudiera emplearse sólo el cloruro de zinc. Es probable que ocurra algo más; el cloruro amónico al desprenderse debe descomponer parte del óxido de hierro, formán-

dose compuestos volátiles que contribuirán á que algo de óxido desaparezca y á que sea posible separar el resto.

Para la desoxidación del cobre que haya de estañarse se emplea la sal amoniaco, que corre y se extiende perfectamente sobre las piezas calentadas, y que forma con el metal sales dobles muy volátiles.

HOJA DE LATA.

Desoxidación de las chapas.—Las chapas de hierro estañadas reciben el nombre de *hoja de lata* ú *hojalata;* para obtenerlas, se suele utilizar hierro preparado con carbón vegetal, que se lamina y corta del tamaño que permiten las máquinas y que exige el comercio. Se reunen después las hojas en paquetes de 100 á 225: la desoxidación se hace, como se ha dicho, con ácido clorhídrico, empleando unos 2 kilogramos de ácido á 25° y 12 kilogramos de agua, para ocho paquetes de 225 hojas. Se doblan éstas en forma cilíndrica de sección de Ω, y se introducen en la disolución, de modo que sus dos caras se humedezcan bien. Á los cinco ó seis minutos se sacan con una barra de hierro y se meten para secarlas en un horno calentado al rojo obscuro. Después de caldeadas se dejan enfriar al aire, saltando el óxido en escamas; se golpean cada ocho ó diez sobre una plancha de hierro fundido, y se pasan por un laminador compuesto de cilindros de unos 48 centímetros de diámetro. Si las hojas tienen aún manchas negras, se lavan sumergiéndolas diez ó doce horas en agua ligeramente acidulada, y se agitan luego una hora en agua con algunos céntimos de ácido sulfúrico, en una caja de plomo dividida en compartimientos: se sacan con rapidez y se ponen en agua destilada, donde se frotan con estopa y arena, para conservarlas hasta el momento conveniente, sin temor de que se oxiden. Hay también otros medios de desoxidarlas, como el ya explicado con el cloruro doble de zinc y amonio, pero todos conducen al mismo resultado.

Baño de estaño.—El baño debe componerse de partes iguales de estaño en galápagos y en lágrimas, añadiendo un kilogramo de cobre por cada 70 de estaño. Fundido el metal, se cubre de una capa de un centímetro de sebo ó grasa para impedir la oxidación, y se calienta todo lo posible, pero sin que se inflamen aquellas substancias.

Las hojas se introducen una por una y se dejan cosa de una hora en una caldera de grasa, con objeto de que se calienten sin oxidarse, y luego se sumergen verticalmente en estaño líquido, en número de unas 340, durante hora y media. Al sacarlas se dejan gotear sobre una rejilla, faltando sólo después lavarlas y quitar el exceso de estaño.

Lavado de las hojas.—El lavado de las hojas requiere cinco calderas: la 1.ª, con estaño fundido para surtir las otras; la 2.ª, que es propiamente la de lavar, con estaño en lágrimas fundido; la 3.ª, con sebo derretido; la 4.ª, fría y con una rejilla en el fondo; y la 5.ª, para alisar, con una capa de estaño líquido, de un centímetro de espesor. La segunda caldera está dividida en dos compartimientos, por un tabique móvil en sentido vertical; levantándolo se separa el estaño oxidado á un lado y se vuelve á bajar para que no pase al otro departamento: cada vez que hay metal oxidado se repite esta operación, y cuando se reune mucho se espuma y se reemplaza con estaño de la primera caldera. Después de lavadas unas cuantas hojas, se colocan en un horno, y cogiéndolas una por una con tenazas, se frotan por las dos caras con una brocha de cáñamo: se sumergen por segunda vez rápidamente en la caldera de lavar para quitar las señales que haya dejado la brocha, y se pasan luego á la de grasa, en la que permanecen corto tiempo. Se llevan en seguida á la cuarta caldera, donde se enfrían, formándose un reborde de estaño en la parte inferior, que se quita en la última vasija, fundiéndolo en contacto con el estaño líquido. Se sacan, y dándoles un golpe con una varilla, se hace caer todo el metal excedente.

Cuando hay que cortar las hojas de lata, debe cuidarse de cubrir de estaño el canto para que no quede el hierro al descubierto.

Marcas usadas en el comercio.—En el comercio se vende la hoja de lata en cajas; cada una encierra un número determinado de hojas de dimensiones fijas; el peso de las cajas varía, como es natural, con el espesor de las láminas, y las letras con que aquellas se designan representan, por lo general, los pesos correspondientes. Las marcas son diversas en las diferentes localidades de que proceden las hojas, que suelen ser Alemania, Silesia, Inglaterra y Francia. Las cajas procedentes de este último país, tienen comúnmente 100, 150, 200 ó 225 hojas.

Los hojalateros de Madrid dan á las láminas los nombres que se expresan en el cuadro siguiente, en que se especifican las dimensiones respectivas y los pesos medios.

NOMBRES DE LAS HOJAS.	DIMENSIONES.		Pesos medios.	OBSERVACIONES.
	Longitud. — *Cm.*	Ancho. — *Cm.*	— *Kg.*	
Tamaño mayor....	200	100	16,10	Dentro de cada clase se hacen subdivisiones, que reconocen por fundamento el espesor de las hojas.
Idem menor......	100	50	7,82	
Hojas de marca....	44	32,5	1,09	
Idem de marquilla.	38	28	0,37	Los pesos son términos medios, en atención á que la cantidad de estaño que reciben las láminas de iguales dimensiones no es rigurosamente constante.
Idem doble regular.	51	36	0,40	
Idem regular......	36	25,5	0,20	
Idem de cañutillo..	36	25,5	0,09	

HIERRO GALVANIZADO.

Preparación.—Se llama *hierro galvanizado*, el que está cubierto de una capa de zinc que le preserva de la oxidación. Se funde este metal en crisoles de barro encerrados en otros de hierro, resguardando el baño de la oxidación por medio de una capa de sal amoniaco ó de una mezcla formada de resina ordinaria y carbonato de sodio. Los objetos se calientan en un horno reverbero, después de desoxidados con el ácido, como ya se ha explicado, y cuando han tomado el baño de zinc y se han pulimentado, primero con piedra pómez y luego con corcho ó cuero, se cubren de arenilla húmeda y se frotan con una muñeca de trapo mojada en una disolución de sal amoniaco, que forma un barniz muy sólido. Esta operación se hace también por procedimientos galvánicos, cuyo fundamento se estudia en el curso de Física.

La galvanización de objetos pequeños, como clavos, tornillos, etc., se verifica en cestas ó cajas de tela metálica, que se introducen en el baño de zinc, donde permanecen el tiempo necesario para que la capa adquiera el espesor conveniente. Al sacar las cajas, se agitan para que caiga el exceso de zinc.

El hierro galvanizado resiste bien á la acción de la humedad, pero

no á la de los ácidos, por cuya razón se ha pensado aplicar sobre la capa de zinc otra de plomo, que es metal menos atacable que aquel. El principio es racional, pero en la práctica se tropieza con el grave inconveniente de que si el baño de plomo está demasiado caliente y se prolonga su acción, el zinc se disuelve en aquel metal, combinándose con él, y deja, por tanto, de proteger al hierro. Es muy difícil que la aplicación del plomo se haga á la temperatura conveniente para que el zinc no se disuelva y se extienda sobre él un baño plomizo de espesor uniforme. El inventor del procedimiento, Sr. Rabatel, proponía que su sistema se aplicase á las chapas galvanizadas para preparar planchas muy á propósito para cubiertas de edificios.

Pintura galvánica—Se emplea también para preservar el hierro de la oxidación la llamada *pintura galvánica*, que consiste en cubrir la superficie del metal con un enlucido compuesto de zinc en polvo y de una substancia untuosa, formada generalmente de una parte de aguarrás y tres de aceite obtenido por la destilación del alquitrán mineral. La reducción del zinc á polvo se facilita combinándolo con la décima parte de su peso de hierro.

Como quiera que esta pintura especial no se ha generalizado, no se darán más detalles.

CLAVAZÓN.

Generalidades.—Se comprende bajo el nombre de *clavazón* el surtido de clavos, clavijas y tornillos metálicos, que se encuentran en el comercio. La clavazón se fabrica de hierro, de cobre, de zinc y algunas veces de bronce: sólo tiene gran importancia la de hierro, pues las de cobre y zinc se reservan para polvorines, y para unir las planchas con que se forran los buques ó se cubren las construcciones, evitando siempre poner en contacto metales heterogéneos, que pudieran facilitar acciones destructoras.

Se preparan también clavos y tornillos estañados, embreados y galvanizados: estos últimos se usan con frecuencia, pero los otros reciben escasísimas aplicaciones.

El hierro empleado en clavazón puede ser forjado ó fundido; sin embargo, las propiedades de este último metal hacen que se restrinja mucho su empleo; así es que los clavos fundidos no tienen, por lo general, arriba de 4 centímetros de longitud, al paso que los hay forjados, como luego se verá, de más de medio metro de largo. Los clavos y clavijas de hierro dulce pueden hacerse á brazo, según se explicó en lugar oportuno, ó á máquina; los tornillos y sus tuercas se construyen con terrajas y machos movidos, conforme se expuso, á mano ó por mecanismos.

El hierro dulce para clavazón ha de ser duro y maleable, proscribiendo el blando y el agrio en frío; se requiere también que se haya trabajado lo bastante para presentar la debida resistencia. Á este efecto, conviene cuidar de establecer en los pliegos de condiciones el peso de la clavazón de diferentes tamaños, expresando, por ejemplo, el del millar de cada clase de clavos ó tornillos. Asimismo debe exigirse que la clavazón no presente oquedades ni rebabas; que las superficies estén bien terminadas y brillantes; que las puntas de los clavos y clavijas sean agudas ó cortantes, según los casos, y que los filetes de los tornillos estén labrados con perfección.

Formas y dimensiones de los clavos y clavijas.—Entre los clavos y las clavijas no hay más diferencia sino que éstas se

alojan en barrenos hechos á propósito para recibirlas, al paso que aquellos abren al clavarlos las cavidades en que se introducen, ó agrandan, por lo menos, las preparadas con barrenas para que no se hiendan las piezas.

La forma de las cabezas y espigas de las clavijas y clavos son variables en extremo. La cabeza es á veces irregular, por estar simplemente remachada; se hace también plana, como en los *alfileres* ó *puntas de París;* piramidal, como en los clavos *de cabeza de diamante;* de forma *de ala de mosca;* de gancho, como en las *escarpias* ó *alcayatas;* de anillo, como en las *armellas* ó *hembrillas,* cuya espiga puede ser de tornillo; de segmento esférico, y comúnmente de latón, como en los clavos *romanos,* etc., etc. En ocasiones los clavos no tienen cabeza y se llaman *agujas;* en otras, la espiga es corta y la cabeza grande, denominándose *tachuelas,* que se usan para unir lonas y otras piezas.

También las espigas son de formas muy distintas; las hay piramidales con dos biseles; cilíndricas y terminadas en punta cuadrangular, como las de los alfileres; escamadas ó con pequeños salientes para que agarren mejor en la madera y resistan bien á los movimientos de trepidación, como en los clavos *arponados,* etc.

En el estado siguiente se estampan los nombres de los clavos corrientes del comercio de Madrid, su longitud y el número de piezas que entran en un peso de 1 ó 100 kilogramos. El cuadro está dividido en dos partes; comprende la primera la *clavazón gruesa,* ó sean los clavos que tienen más de 6 pulgadas ($0^m,14$) de longitud, y la otra la *menuda,* ó clavos que miden menos de 5 pulgadas ($0^m,12$).

Clavazón gruesa.

NOMBRES.	LONGITUD EN		Entran en 100 kg.
	Pulgadas.	Metros.	
Estaquillas..........	24	0,567	175
Medias estaquillas....	15	0,348	215
De á pie.............	12	0,278	390
De á cuarta..........	9	0,209	565
Bellotes.............	7	0,163	640
Bellotillos...........	6	0,139	650

Clavazón menuda.

NOMBRES.	LONGITUD EN		Entran en 1 kg.
	Pulgadas.	Metros.	
De á dos cuartos......	5	0,116	32
De á seis maravedís..	4	0,092	43
De á cuarto..........	3,50	0,081	72
De á ochavo..........	3	0,069	108
De chilla............	2,50	0,058	253
De media chilla......	2	0,046	362
De ala de mosca......	2,50	0,058	245
Agujuelas...........	1,75	0,040	543
Medias agujuelas.....	1,50	0,034	621
Tabaques............	1	0,023	483

Del cuadro precedente resulta que los nombres de los clavos ordinarios del comercio se toman unas veces, de la forma de la cabeza ó de la espiga; otras, del precio que han tenido en alguna época; otras, de sus dimensiones, y otras de la clase de madera á que se aplican; de ciertas denominaciones no se descubre el origen á primera vista.

En cuanto á los alfileres ó puntas de París, que no constan en el cuadro, se venden en el comercio por paquetes de á 10 libras ($4^{kg.},60$), que varían en el número de su contenido, según el grueso del alambre empleado en la fabricación. Las longitudes de los alfileres están comprendidas entre 11 y 95 milímetros; se clasifican con los números del 6 al 21. Los de los tres últimos reemplazan con ventaja á los clavos de á dos cuartos, de á seis maravedís, de á cuarto y de á ochavo. Los alfileres se usan casi exclusivamente por los carpinteros de blanco y los ebanistas, porque presentan la ventaja sobre los clavos ordinarios de no hender las tablas. Se dijo antes que la cabeza de los alfileres es plana, y sin embargo, hay algunos, como los *de cabeza de gota de sebo,* que la tienen acopada, y otros que casi carecen de ella, y se llaman *de cabeza perdida.* El cuadro siguiente expresa la longitud y peso de los alfileres comunes:

Número de los alfileres.	Longitud. — *Metros.*	NÚMERO DE ALFILERES QUE ENTRAN EN PAQUETE DE	
		10 libras=4$^{kg.}$, 60.	Un kilogramo.
6	0,011	26.640	5.790
7	0,014	20.000	4.350
8	0,018	10.000	2.175
9	0,018	8.880	1.930
10	0,023	7.280	1.580
11	0,023	5.000	1.090
12	0,027	4.300	935
13	0,033	3.240	705
14	0,037	2.920	635
15	0,040	1.600	350
16	0,045	1.280	280
17	0,050	960	215
18	0,055	711	155
19	0,069	400	85
20	0,080	202	45
21	0,095	196	40

Las tachuelas hechas á máquina se clasifican también por números y se venden en paquetes de á 10 libras. Las longitudes correspondientes á los diversos números, se expresan á continuación:

Números de las tachuelas.	Longitud. — *Metros.*	Números de las tachuelas.	Longitud. — *Metros.*
2	0,005	16	0,016
4	0,008	20	0,019
6	0,009	24	0,020
8	0,012	32	0,024
10	0,012	36	0,026
12	0,014	40	0,028

Formas y dimensiones de los tornillos.—La espiga de los tornillos es, por lo general, ligeramente cónica, y tiene labrado el filete en unos $^2/_3$ de su longitud. La cabeza presenta una muesca en la que engrana el filo del destornillador; unas veces ofrece la forma de un casquete esférico, y otras la de un tronco de cono invertido.

En lugar de cabeza, suelen tener los tornillos un anillo, como sucede en las armellas de que ya se ha hablado.

En el comercio de Madrid hay tornillos de longitudes variables desde 7 á 140 milímetros; están clasificados en 19 números, del 10 al 28, comprendiendo cada uno piezas de diversas longitudes y el mismo diámetro. Se venden ordinariamente por gruesas.

INDUSTRIA DE METALES EN ESPAÑA.

Beneficio de menas.—Al hablar de los hierros especiales, se anunció ya que van progresando y extendiéndose con bastante rapidez en España las industrias relativas al trabajo de metales. Aun el beneficio de los minerales respectivos tiene mucha importancia comparada con la que alcanzaba en época reciente; sin embargo, en la actualidad se exportan todavía al extranjero la mayor parte de las abundantes menas de la Península, lo que prueba que, continuando la industria su marcha progresiva, la metalurgia podrá llegar á adquirir extraordinario desenvolvimiento, máxime en un país como España, dotado por la naturaleza con excelentes combustibles vegetales y minerales. Concretando las observaciones á los metales más empleados en la construcción, que son el hierro, el cobre, el plomo y el zinc, en el estado siguiente aparecen las cantidades de menas que se explotaron en España y las que se sujetaron al tratamiento metalúrgico para su beneficio, en el año 1882; los datos están tomados de la Estadística oficial minera, publicada en 1884 por la Dirección general de Agricultura, Industria y Comercio.

Clase de mineral.	Cantidades de menas explotadas. — *Toneladas.*	Cantidades de menas beneficiadas. — *Toneladas.*	Cantidades de metal obtenidas. — *Toneladas.*	OBSERVACIONES.
Hierro...	4.726.293	260.343	120.064 (1) 5.553 (2)	(1) De esta cantidad se sometieron al afino 85.140 toneladas, que produjeron 59.669 de hierro dulce; se obtuvieron también 554 toneladas de acero. (2) Este guarismo se refiere al hierro dulce obtenido por procedimientos directos. (3) En este peso se comprenden las menas de plomo argentífero. (4) Se comprende el cobre argentífero. (5) Se comprende el plomo argentífero.
Plomo...	364.243 (3)	293.080	90.672 (5)	
Cobre...	1.720.903 (4)	1.035.253	23.478	
Zinc....	57.353	13.060	7.032	

En la misma fecha de 1882, estuvieron en actividad 35 hornos altos para la obtención de hierro colado, y no funcionaron 18; las forjas catalanas, que tanto abundaban en Vizcaya años atrás, van desapareciendo á medida que crece el número de hornos altos, que producen cantidades enormes de hierro y á precios más bajos que aquel método de beneficio.

Trabajo de metales.—Desde el punto de vista de la preparación de materiales de construcción, tiene mucho más interés conocer el estado de la industria en lo relativo al trabajo de metales ya obtenidos, que en lo que se refiere al beneficio de menas. No es fácil hacer una estadística de tan importante asunto, pero quizá pueda ser de alguna utilidad el cuadro que se incluye al final de este artículo, en el que se comprenden algunos de los establecimientos industriales de España, dedicados al trabajo de metales. Por más que se ha limitado la lista á las fábricas de mayor entidad, es indudable que faltarán muchísimas; aun para recoger las noticias que se expresan, ha sido preciso abusar de la benevolencia de amigos y compañeros y consultar multitud de folletos y catálogos. En la relación se prescinde de los establecimientos de beneficio de minerales de cobre, plomo y zinc, de los que algo se ha dicho en lugar oportuno; se citan, sin embargo, las ferrerías, á causa de que en casi todas ellas se preparan, por lo menos, piezas corrientes del comercio y á veces hierros especiales. Por último, no se expresan las acreditadísimas fábricas, que están á cargo del Cuerpo de Artillería, entre las que figuran, en primer término, la de Trubia (Oviedo) y la fundición de cañones de Sevilla, que, por lo general, se dedican exclusivamente á trabajos que dependen de los Ministerios de la Guerra y de Marina.

Después de la lista de fábricas, y á semejanza de lo que se ha hecho en las dos secciones anteriores, se acompaña un estado en que constan la resistencia y densidad de los principales materiales metálicos.

RELACION de algunas de las principales fábricas de España dedicadas á la obtención del hierro y al trabajo de metales.

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	SITUACIÓN. Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Ferrería de San Pedro.	Álava.....	Arraya......	D. León de Urigoitia......	Se dedica á la obtención y afino del hierro colado. Tiene un horno alto en actividad, alimentado con carbón vegetal. En 1882 se prepararon 2.700 toneladas de hierro dulce.
Compañía metalúrgica de San Juan de Alcaraz..............	Albacete. . Murcia....	San Juan de Alcaraz.... Santa Lucía (Cartagena).	Sociedad anónima........	Se dedica al trabajo del zinc, cobre, bronce y latón. Entre los varios objetos que elabora, conviene citar los siguientes: alambres de cobre y latón, bisagras de latón laminado ó fundido, bombas de latón y bronce, cerraduras y cadenas de latón, grifos de todas clases, cantoneras de chapa de latón, llamadores, picaportes, planchas de latón y cobre, tubos de latón en trozos y estirados, etc., etc. Los tubos estirados, las planchas de cobre para cajas de fuego y las de metal amarillo para forro de buques, se preparan en Santa Lucía (Cartagena); los demás objetos en San Juan de Alcaraz.
Gran fábrica de rejillas metálicas..........	Alicante...	Alicante.....	Sres. Aparicio y Villalva..	La principal industria á que se dedica es la fabricación de rejillas de alambre galvanizado. El despacho está en la calle de Montengón, 7, y en la de Belén, 22.
San Andrés..........	Almería...	Adra........	Sres. Hijos de M. A. Heredia, de Málaga..........	Además de las planchas y tubos de plomo, cuya clasificación consta en páginas anteriores, prepara esta fábrica plomo en barras y barritas, perdigones, litargirio, minio, etc.
Fábrica de tubos de hierro betunado.....	Barcelona..	Barcelona. .	Sr. Soujol y Compañía....	Construye tubos de hierro embetunados interiormente, para conducción y distribución de agua y gas, así como todas las piezas especiales que son necesarias. Los diámetros de los tubos varían entre 0m,04 y 0m,60; se han ensayado en varias poblaciones. La dirección de la fábrica es Campo Sagrado, 16, ó Borrell, 11.
Fundición de cobre...	Id.	Id.	D. Narciso Grau é hijos....	Está situada en la calle de Valldoncella, 2.
La Maquinista terrestre y marítima......	Id.	Id.	Sociedad anónima........	Se dedica á toda clase de construcciones de hierro, poseyendo también talleres para fabricación de máquinas. El terreno ocupado mide 22.000 metros cuadrados; existen 15 cuerpos de edificios para las secciones de carpintería y modelación, fundición, ajuste, montaje, forjas y martinetes, calderería, cerrajería, puentes, almacenes, etc., etc. Nueve generadores de fuerza de 186 caballos hacen funcionar cinco máquinas de vapor de 140 caballos, que dan movimiento á todos los aparatos de la fábrica. La Sociedad ha construído máquinas de vapor para la industria particular, que representan una fuerza de más de 20.000 caballos; motores hidráulicos, que suman una potencia de 30.000 caballos, en 350 instalaciones; máquinas y calderas para la marina de guerra y para la mercante. Entre las obras de hierro merecen especial mención los mercados del Borne, San Antonio y Barceloneta, en Barcelona; el taller del dique de A. López y Compañía, en Matagorda (Cádiz); el tinglado del cuartel de Guardias de Corps, en Madrid; el varadero del puerto de Barcelona; la parte metálica del dique que se está construyendo en la región inferior de la ría de Bilbao; el puente sobre el Ebro, en Logroño, de 330 metros de longitud; los puentes de Fraga, Pravia, el Prat, Lérida, Sariñena, etc., y las obras ejecutadas en los canales de Urgel y el Duero, y en los ferrocarriles de Granollers á San Juan de las Abadesas, Barcelona á Francia, Norte, Orense á Vigo, Valls á Villanueva y Barcelona, etc. Los talleres se hallan establecidos en la Barceloneta.
Nuevo Vulcano.......	Id.	Id.	»	Construye especialmente máquinas.
Talleres de construcción de máquinas...	Id.	Id.	D. Alejandro Wohlgemuth.	Aunque en pequeña escala, se dedica á construcción de máquinas y de toda clase de obras de hierro.
Id. id.	Id.	Id.	Sres. Alexander, hermanos	
Id. id.	Id.	Id.	Sres. Hijos de D. Amador Peiffer................	Se dedican especialmente á la construcción de máquinas.
Id. id.	Id.	Id.	D. Joaquín Jener.......	
Id. id.	Id.	Id.	Sres. Valls, hermanos. ...	
Fundición de cobre rojo................	Id.	Ordeix......	Sres. Hijos de D. Francisco Lacambra.............	Se dedican á la preparación de planchas de cobre.
Fábrica de planchas de cobre..........	Id.	Palau-Tordera........	D. José María Alier.......	
Sociedad *Material para ferrocarriles y construcciones*.........	Id.	San Martín de Provensals..	Sociedad anónima........	Esta fábrica es la antigua herrería de Nuestra Señora del Remedio, que perteneció á los Sres. Girona, hermanos. Se dedica á la fabricación de hierros usuales del comercio; de vigas metálicas; de hierros especiales de varias formas, entre los que conviene citar carriles de los sistemas de Vignoles y Loubat; de tornillos, tuercas, arandelas, roblones, escarpias y demás accesorios de la vía; de armaduras, tinglados y

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Sigue el anterior....	»	»	»	puentes; de vagones para ferrocarriles y tranvías; de vehículos para transportes ordinarios, etc., etc. En la actualidad funcionan en los talleres cinco máquinas de vapor, de fuerza comprendida entre 120 y 24 caballos, siendo de 324 la potencia total; varias máquinas pequeñas para mover las cizallas, perforadoras y otras herramientas mecánicas; dos martinetes de vapor; cinco hornos de pudelar y seis de afino; etc., etc. Ha realizado construcciones importantes para las Compañías de ferrocarriles del Norte, del Mediodía, de Barcelona á Tarragona y Francia, de Aranjuez á Cuenca y de Cuenca á Valencia; ha ejecutado los tramos del puente sobre el Tajo, en la carretera de Tarancón á la Armuña, y los del establecido sobre el Francolí, en la de Alcolea del Pinar á Tarragona, así como un tinglado para el puerto de Almería. El domicilio social está en Barcelona, calle Ancha, núm. 2.
Fábrica de San José...	Barcelona..	Sans........	Sres. Marqués, Alegret y Compañía.............	Esta ferrería tiene bastante importancia; no se pueden detallar los trabajos á que se dedica por no poseer suficientes datos. El domicilio social está en Barcelona.
Idem de tubos de hierro inoxidables.....	Id.	Villanueva y Geltrú.	D. Manuel Tomás.........	Construye tubos de hierro embetunados para conducción y distribución de agua y gas; así como todas las piezas especiales que son necesarias. Los calibres de los tubos varían entre Cm ,03 y Cm ,60; se han ensayado en varias poblaciones. Los pedidos pueden hacerse á D. Agustín Forga, calle de Mercaders, núm. 10, Barcelona.
Ferrería de la Constancia...............	Burgos....	Barbadillo...	D. Saturnino Gómez de Cisneros (uno de los propietarios)................	Se dedican á la obtención y afino del hierro colado. En 1882 produjeron 350 toneladas de hierro dulce.
Idem *La Previsora*....	Id.	Id.	»	
Fundición de hierro y talleres de maquinaria...............	Cádiz.....	Cádiz.......	D. Rafael de Matos y Ruiz.	Se dedica á la fabricación de norias, prensas, fuentes, caloríferos, bocas de riego, grifos, balcones, cierros, cancelas, escaleras, etc., y á la reparación de máquinas y calderas de vapor. Los talleres están en el Campo de las Delicias, núm. 5, y el despacho en la calle del Duque de Tetuán, núm. 15.
Idem de Puntales....	Id.	Cádiz (Puntales)........	Sres. Hijos de D. Tomás Haynes................	Se dedica principalmente á fundir tubos y piezas especiales de encargo; pero hace también máquinas y trabajos de calderería y herrería para construcciones civiles y navales.
Idem de hierro.......	Id.	Jerez (Vallesequillo)...	D. Ignacio Gutiérrez y Compañía..................	Se dedica, como la fundición anterior, á moldear tubos y piezas especiales de hierro, latón, bronce, etc. Ha hecho varios trabajos para las obras de conducción y distribución de aguas de Jerez y Sanlúcar de Barrameda.
Ferrería de San Martín	Guipúzcoa.	Beasain.....	Sres. Goitia y Compañía...	Se dedica á la obtención y afino del hierro colado. Funcionan 3 hornos altos, cada uno de los cuales puede producir por semana 450 quintales métricos de lingote. En 1882 preparó 4.000 toneladas de hierro colado, que suministraron 2.750 de hierro dulce.
Idem de San Pedro...	Id.	Elgóibar....	»	Su horno alto produjo, en 1882, 3.800 toneladas de lingote, de las que se afinaron 3.400, que dieron 2.500 de hierro dulce, dedicándose 300 á objetos moldeados.
Fábrica de acero cementado..........	Id.	Mondragón..	»	Esta fábrica produjo, en 1882, 192 toneladas de acero cementado, invirtiéndose 200 de hierro dulce.
Ferrería *Gloria*.......	Logroño...	Tobía.......	»	Se dedica á la obtención de hierro en hornos altos. La producción de hierro dulce en 1882 fué de 399 toneladas. Parece que en esta ferrería se fabrica también acero.
Idem *Numancia*......	Id.	Azárrulla....	»	Produjo, en 1882, 250 toneladas de hierro dulce de afino.
Fábrica de Sargadelos.	Lugo......	Sargadelos..	D. Carlos Ibáñez.........	Se cita esta fábrica, aunque no funciona en la actualidad, por ser la primera que se estableció en España para el beneficio del hierro en hornos altos. Se fundó por Real cédula de 5 de Febrero de 1791, otorgada á favor de D. Antonio Ibáñez. En 1793 se construyó uno de sus hornos, y en 1814 el otro. La fabricación se hacía con carbón vegetal. La producción de hierro colado era de unas 1.380 toneladas en 1840, moldeándose tubos, ruedas hidráulicas, balcones y muchos otros objetos. Los talleres comprendían, además de la ferrería, una importante fábrica de loza.
Construcciones de calderería de todas clases...............	Madrid. ..	Madrid......	Sres. Carré, hermanos....	Se dedica á trabajos de calderería, especialmente á los relativos á aparatos de destilación y calderas para máquinas de vapor. Los talleres están situados en la calle del Españoleto, número 14 (Chamberí).
Fábrica de papel de estaño..............	Id.	Id.	Sres. Maquieira, Saenz y Compañía.............	Se ocupa principalmente en la preparación de papel de estaño de los números 1 al 5, en la fabricación de hojas de plomo cubiertas de estaño, en la de planchas de dichos dos metales, etc., etc. En los talleres, que están en la calle de Viriato (Chamberí), hay dos máquinas de vapor de 25 y 15 caballos de fuerza, servidas por una caldera tubular; cuatro laminadores grandes y dos pequeños, y varias herramientas mecánicas.

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	SITUACIÓN. Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Fábrica de fundición y construcción de máquinas............	Madrid....	Madrid......	Sres. Herederos de Sanford.	Se dedica á la construcción de máquinas de vapor, motores hidráulicos, bombas para elevar aguas, máquinas para fabricar aceite y papel, etc. Construye también los aparatos auxiliares para la ejecución de obras públicas, como martinetes para clavar pilotes, grúas, cabrestantes, carretillas, rodillos compresores, etc. Por último, fabrica todas las piezas metálicas necesarias para construcciones urbanas. Los talleres están en la calle de Fuencarral, núm. 147.
Idem de tejidos metálicos...............	Id.	Id.	D. Francisco Rivière......	Se dedica á la fabricación de telas metálicas, chapas perforadas y objetos de cedacería. El propietario es también representante de varias casas extranjeras para el surtido de máquinas para fábricas de harinas, pan, etc. Los almacenes y despacho están en la calle del Príncipe, núm. 45; los talleres en la de Zurita.
Fundición de hierro y plomo.	Id.	Id.	Sres. Bonaplata, hermanos.	Se construyen los objetos que se encargan relativos á construcciones urbanas, á máquinas de vapor, bombas, rodillos compresores, tubería de hierro fundido y de plomo, planchas de plomo para cubiertas, etc. Los talleres se hallan establecidos en el Paseo de Santa Engracia, núm. 21 (Chamberí).
Id. id.	Id.	Id.	D. J. Picazo.............	Puede decirse lo mismo respecto á esta fundición que á la de los Sres. Bonaplata. Los talleres están situados en la calle de Fuencarral, núm. 141, y Olid, núm. 1.
Id. id.	Id.	Id.	D. Francisco López.......	Construye planchas de plomo de los números 1 á 5; tubería del mismo metal de los 25 números que se usan en el comercio, y tubos de hierro fundido para bajadas de agua y excusados, cuya longitud útil varía de 0m,20 á 1 metro, y el calibre de 0m,08 á 0m,619. Los talleres están en el Paseo de Santa María de la Cabeza, núm. 36, y el depósito central en la calle de las Infantas, núm. 1.
La Maquinaria agrícola	Id.	Id.	Sres. Río, Fraile y Compañía....................	Esta fábrica tenía hasta época muy reciente los talleres de construcción en Pamplona (Navarra), dedicándolos á la fabricación de máquinas agrícolas. El depósito continúa en Madrid, calle de Tragineros, núm. 32.
Parsons y Graepel....	Id.	Id.	Sres. Parsons y Graepel...	Los Sres. Parsons y Graepel no son constructores, sino representantes de varias casas extranjeras, teniendo abundantes modelos de máquinas de vapor, calderas, bombas y aparatos agrícolas. El depósito se halla en la calle de Claudio Coello, núm. 43, y la exposición permanente y despacho en la de la Montera, número 29.
Talleres de construcción de máquinas y fundición de hierro..	Id.	Id.	D. Gabriel Padrós........	Se dedica á la construcción de máquinas de vapor, turbinas, ruedas hidráulicas, molinos harineros, puentes, armaduras, etc. El local comprende 5.200 metros cuadrados, y cuenta con los elementos necesarios para dichos trabajos. Entre las obras que ha ejecutado pueden citarse las máquinas y accesorios para la fabricación de hormigón en el puerto de Cartagena; el puente de la Vega, en la carretera de Madrid á Irún, cerca de Alcobendas; las cubiertas de las cocheras de locomotoras, en las estaciones de Córdoba y Linares; las armaduras para los cuarteles del Conde-Duque y de Guardias de Corps, etc. Los talleres están situados en el Paseo de las Delicias (Puerta de Atocha).
Fundición de hierro..	Málaga....	Antequera...	D. Antonio la O y Compañía	Se dedica, aunque en menor escala, á lo mismo que la siguiente, y además á fundir campanas.
Idem id.—Talleres de construcción.......	Id.	Id.	D. Mariano Bertrán de Lis.	Es una fábrica de bastante importancia que construye máquinas de vapor hasta de 40 caballos de fuerza, norias, bombas y gran número de herramientas y aparatos agrícolas. Los talleres están situados en el convento de Capuchinos.
Ferrería de *La Constancia*	Id.	Málaga......	Sres. Hijos de M. A. Heredia..............	Esta ferrería convierte en hierro dulce el colado; elabora toda clase de hierros usuales y palastros; construye vigas de doble T, maquinaria y aparatos de varias especies, clavos de cobre fundidos y dulces, y placas del mismo metal, con especialidad para forro de buques. Prepara todas las piezas de hierro forjado ó fundido que se le encargan. En 1882 produjo 2.141 toneladas de hierro dulce de afino, beneficiando lingote de «La Concepción,» de que luego se hablará, y además hierro colado procedente de Bilbao.
Fundición y talleres de *La Esperanza*.......	Id.	Id.	Sres. Heaton y Bradbury..	Se ocupa especialmente en la construcción de máquinas de vapor de 4 á 100 caballos de fuerza; turbinas de 1 á 60 caballos para caídas de agua, comprendidas entre 2 y 32 metros; bombas ordinarias y centrífugas; norias, y tubos de hierro colado, de enchufe ó bridas, y de calibres que varían de 0m,10 á 0m,20.
Gran fábrica de construcción de máquinas y fundición de hierro.	Id.	Id.	Sres. T. Triguero é hijo...	La especialidad de esta fábrica es la construcción de máquinas; pero se encuentran también en ella piezas sueltas de hierro ó bronce para transmisiones de movimiento, tornillos de diversas formas y dimensiones, grifos, poleas y tubería de hierro fundido, sierras rectas

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	SITUACIÓN. Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Sigue el anterior....	»	»	»	y circulares, armaduras metálicas de 5 á 30 metros de luz, y toda clase de herrajes para edificios.
Talleres de construcción de máquinas...	Málaga....	Málaga......	Sres. Hijos de la viuda de E. Gaa..................	Aparte de las máquinas necesarias para industrias especiales, construye norias de hierro y bombas de rosario movidas por caballerías.
Ferrería de *La Concepción*...............	Id.	Marbella (Río Verde).....	Sres. Hijos de M. A. Heredia.....................	Se dedica á la obtención con carbón vegetal de hierro colado, que se afina en Málaga, en la fábrica de «La Constancia.» Tiene tres hornos altos, cada uno de los cuales puede producir semanalmente 333 quintales métricos de lingote. En el año 1882 sólo funcionó uno, que produjo 916 toneladas de hierro colado.
Idem de Ola-Andía...	Navarra...	Vera........	Fundiciones de hierro y fábrica de acero del Bidasoa.....................	Como la anterior, se dedica á obtener lingotes de hierro colado. El horno alto que posee produjo en 1882, 2.255 toneladas. En la misma fecha se habían emprendido en la fábrica grandes trabajos de ensanche para montar la fabricación de hierros laminados y palastros, acero pudelado y cementado, herramientas, aperos, etc.
Minas de carbón y de minerales de zinc y plomo. Beneficio metalúrgico de ambos metales............	Oviedo.... Guipúzcoa.	Castrillón... Rentería.....	Real Compañía Asturiana..	La Real Compañía Asturiana explota carbones en Arnao (Oviedo), hierros y blendas en Oyarzun (Guipúzcoa), calaminas y galenas en Cegama (Santander), y galenas en Linares (Jaén). El beneficio y trabajo del zinc y del plomo los ejecuta en España en dos fábricas: los del zinc en Arnao, partido judicial de Castrillón, á orillas del mar y á 11 kilómetros de Avilés; la fábrica de plomo está situada en Rentería (Guipúzcoa), entre San Sebastián é Irún, en el ferrocarril del Norte. Elabora planchas de zinc de las dimensiones y espesores que se han expresado en lugar oportuno, y que se aplican á forros de buques, á cubiertas, á tejas, á canalones y á tubos. La producción de plomo es abundante, tanto en lingotes como en planchas y tubos. Los hornos de la maquinaria de la fábrica de Arnao están á la altura de los últimos adelantos. En 1882 produjo la Real Compañía Asturiana 5.046 toneladas de zinc en lingotes y 2.864 en láminas. Esta Compañía puede decirse que es la única que explota en España la metalurgia del zinc.
Fundición de hierro..	Oviedo....	Gijón.......	D. Anselmo Cifuentes.....	Además de los trabajos comunes de fundición de hierro, se ocupa en los de hierro *forjado* y en fabricar puntas de *París*. Tiene talleres de construcción de máquinas y de calderería. Como ensayo de construcciones navales, ha ejecutado un vapor de 40 toneladas, que sirve en la actualidad de remolcador en el puerto de Gijón.
Id. id.	Id.	Id.	D. Guillermo Hulton......	Tienen, como la anterior, talleres de ajustar, y se ocupan en trabajar el hierro dulce y el colado.
Id. id.	Id.	Id.	Sres. Kessler, Laviada y Compañía.............	
Minas y fábrica de Moreda y Gijón........	Id.	Id.	Sociedad anónima........	La fábrica está situada en el barrio de Natahoyo, de la parroquia de Tremañes; ocupa una extensión de 4 hectáreas, y se dedica á la obtención del hierro colado, afinación de éste y fabricación de palastros, alambres y puntas de París. Tiene un horno alto que puede producir 250 quintales métricos de lingote en 24 horas de trabajo, y los hornos, laminadores, hileras y herramientas mecánicas necesarias. A pesar de que el establecimiento es moderno, pues se empezó á construir en 1879, produce anualmente 2.640 toneladas de hierros y alambres laminados, 1.058 de alambres estirados y 1.050 de puntas de París. El pedido de alambres y alfileres va constantemente en aumento. En talleres especiales construye y repara la Compañía sus máquinas, y en el de fundición moldea las piezas que se le encargan. El lingote que produce la fábrica, en especial el marcado con el núm. 1, se ha empleado con buen éxito en Trubia.
Fábrica de Mieres....	Id.	Mieres......	Sociedad anónima........	La fábrica de Mieres es uno de los establecimientos industriales más importantes de España. Con el carbón procedente de las minas que posee en Asturias, beneficia los minerales de hierro, que extrae en su mayor parte de minas de la misma provincia; compra además unas 7.000 toneladas de hierros de Vizcaya, y se dedica en grande escala al trabajo del metal. Ocupa una extensión de 24 hectáreas; tiene 24 máquinas de vapor, con 38 calderas y 750 caballos de fuerza; dos hornos altos en servicio y otro en construcción; tres máquinas sopladoras; taller de pudelar con 38 hornos; talleres de fundición, de puentes, de calderería, de armaduras, de carpintería, de productos refractarios, etc. Trabajan en las minas y en la fábrica unos 2.300 operarios. Produjo en 1882, 12.307 toneladas de lingote; 13.223 de hierro pudelado; 10.223 de hierro laminado, y unas 300 de hierro martillado. En 1882 construyó 29 puentes. El del Nalón, cerca de Pravia; el de Sequeiros, en la línea de Galicia, y algunos de los de la bajada de Pajares se han ejecutado, en su parte metálica, por la fábrica de Mieres.

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Compañía de minas y fundiciones de Santander y Quirós.....	Oviedo....	Quirós..... Trubia......	Sociedad anónima........	La Compañía explota en Comillas (Santander) minas de calamina, y en Quirós (Oviedo) otras de carbón y mineral de hierro. Tiene hornos altos en Quirós, fábrica de hierros y talleres en Trubia, y un ferrocarril de vía estrecha que, partiendo de las minas de Santa Marina, en Quirós, pasa al pie de los hornos altos, y termina en la fábrica de Trubia, con un desarrollo de 39 kilómetros. Los hornos altos son dos, de los cuales marcha en mejores condiciones el más moderno, que produce semanalmente 840 quintales métricos de hierro colado. En la fábrica que posee en Trubia la misma Compañía, existen el taller de pudelación con 10 hornos funcionando, y 6 en construcción; el tren de laminadores; los aparatos y máquinas necesarias para la fabricación de carriles; los talleres de ajustar y montar; los de fundición de hierro y carbón, etc. Desde Febrero de 1882 á 1.° de Enero de 1883, produjo esta fábrica 900 toneladas de carriles para el camino de servicio de la Compañía, 250 para las vías de las minas, y 3.250 toneladas de hierros de diferentes formas para el comercio. Invirtió además en otros trabajos 7.250 toneladas de lingote. En los talleres del establecimiento se han construído los laminadores, los volantes de las máquinas de vapor y los vagones para el ferrocarril.
Fábricas de la Felguera y Vega..........	Id.	Vega........	Sres. Duro y Compañía...	Las fábricas de la Felguera y Vega alcanzan tanta importancia como la de Mieres. Están situadas á 150 metros de la estación de Vega, en el ferrocarril de Langreo á Gijón. Para el servicio interior tienen 4 kilómetros de vías, enlazadas con las de aquel, de suerte que los trenes pueden llevar las primeras materias al pie de los hornos y de los talleres. La Sociedad posee también minas de carbón y de hierro en la provincia de Oviedo. Para la obtención del hierro colado cuentan con cuatro hornos altos, igual número de máquinas sopladoras y estufas para calentar el aire. Para pudelar el hierro fundido hay 31 hornos, uno de ellos de pudelación mecánica, y para cinglar el hierro dulce tres martinetes de vapor y tres trenes de laminadores con todos sus accesorios. Para la elaboración del hierro hay vastos talleres con hornos y herramientas mecánicas. Existen además talleres de construcción y reparación de máquinas; de calderería con encorvador mecánico para las planchas; de carpintería; de ladrillos refractarios, etc. En los diversos servicios se emplean 63 motores, que reunen una fuerza de 1.200 caballos, producida por 48 generadores. El número de operarios se eleva á 2.200. En la actualidad está en construcción otro taller para el trabajo del hierro en planchas y en barras, que medirá una extensión de 4.333 metros cuadrados. Las fábricas elaboran todos los hierros del comercio; los especiales que se necesitan para armaduras de cubiertas y cuchillos de puentes; carriles para minas, y del sistema de Vignoles, de 7 metros de longitud y 35 kilogramos de peso por metro lineal; llantas para coches, ejes para vehículos, etc. En 1882 produjeron 23.012 toneladas de hierro colado, 19.829 de hierro pudelado y 16.000 de piezas concluídas.
Ferrería de *La Trinidad*...............	Santander.	Castro-Urdiales.........	»	Se dedica á la obtención del hierro colado, beneficiando menas de Somorrostro (Vizcaya). El horno alto produjo en 1882, 550 toneladas de lingote.
Idem de Nuestra Señora de la Merced...	Id.	Guriezo.....	»	Se dedica también á obtener hierro colado, que tiene condiciones especiales de resistencia, y que se ha empleado mucho para la fabricación de cañones. El horno alto produjo en 1882, 665 toneladas de hierro fundido.
Fábrica de San José...	Sevilla....	Pedroso.....	Compañía de minas y fábrica de hierros y aceros del Pedroso............	Esta fábrica se dedica al beneficio de mineral de hierro, procedente de minas de la misma Compañía. Tiene hornos altos que funcionan con carbón vegetal ó con cok. El hierro colado lo emplea, en gran parte, para la preparación de hierro dulce y de aceros pudelados y fundidos. Para la fabricación del acero cuenta con seis hornos de pudelar. Elabora la fábrica hierros usuales del comercio, laminados y martillados; herramientas; objetos de hierro colado; acero fundido de diversas formas y temples, y toda clase de limas. El año 1882 produjo 45 toneladas de acero, 190 de hierro colado moldeado y 990 de hierro dulce de afino. La cantidad de lingote ascendió á 1.113 toneladas.
Fundición de hierro..	Id.	Sevilla.....	D. Manuel Grosso y Quiroga..................	Se dedica principalmente á la fabricación de turbinas, bombas de agotamiento, molinos de varias clases y cancelas de ornamentación. En este establecimiento se construyó la verja de estilo del Renacimiento, colocada en la capilla Sacramental de la iglesia de San Antonio, en Cádiz. Los talleres están en la calle de Trastamara, número 19, y el despacho en la de San Pablo, núm. 7.

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	SITUACIÓN. Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Fundición de hierro de *Santa Matilde*.......	Sevilla....	Sevilla......	D. Manuel Antonio Montes.	Se dedica á trabajos de herrería y cerrajería. Construye molinos, bombas, norias, vigas de doble T, ruedas para carretillas, balcones, verjas, etc. Los talleres están situados en la calle de Teodosio, núms. 47 y 49.
Idem de hierro y construcción de maquinaria y cerrajería de *San Antonio*.........	Id.	Id.	Sres. Pérez, hermanos....	Se dedica principalmente á la fabricación de molinos y prensas para aceite, norias privilegiadas, candelabros monumentales y objetos de ornamentación. Ha construído la parte metálica del puente de Isabel II, en Sevilla; del mercado de Alfonso XII y plaza de Toros, en Málaga; del patio árabe de la casa de los Sres. Vacas García, hermanos, en Badajoz; del Gran teatro de Cádiz; del de Cartagena; del del Gran Capitán, en Córdoba; de los de Lara y la Comedia, en Madrid, y del que se está ejecutando en Valladolid. Los talleres están en la calle de San Vicente, núm. 81.
La Agricultora.......	Id.	Id.	D. José Duarte...........	Se ocupa especialmente en la construcción de máquinas agrícolas. El despacho está en la calle de Adriano, núm. 16.
La Catalana..........	Id.	Id.	D. Eustasio Oñós.........	Fundición de hierro, construcción de máquinas y taller de cerrajería. La fábrica se halla establecida en Sevilla, Atarazanas, núms. 7, 8, 9, 10 y 12; tiene una sucursal en Jaén, en el portillo de San Jerónimo.
Talleres mecánicos de construcción de máquinas............	Id.	Id.	Sres. Portilla, White y Compañía..................	Este establecimiento se dedica á la construcción de toda clase de hierros y de maquinaria. En él se fabricó la parte metálica del puente de San Pedro, en la línea de Mérida á Sevilla, así como las armaduras de la casa de Moneda de Madrid. La Compañía Transatlántica se surte de calderas en estos talleres, que recientemente ha suministrado dos juegos de 2.000 caballos cada uno. Construye máquinas de vapor para la marina de guerra, y ha presentado un proyecto de máquinas y calderas de 1.500 caballos. En trabajos de forja, ha construído ejes para los buques de la Compañía Transatlántica, de 9 metros de longitud y 0^{m},30 de diámetro, y los codastes para algunos vapores. Fabrica bastantes máquinas para la preparación de la harina y del aceite. Los talleres de fundición, de herramientas mecánicas, de forjas, de armar, de calderería y de laminación, están dotados de buenos hornos y de aparatos que van aumentando constantemente en número. La fábrica está situada en la calle de Arjona, 4.
Ferrería de *La Purísima Concepción*......	Vizcaya...	Amorevieta..	D. Juan J. Jáuregui.......	Beneficia mineral de hierro y construye llantas, cuadradillos y algunos hierros especiales. La producción anual de hierro dulce es de 1.500 toneladas.
Idem de *Nuestra Señora del Carmen*.......	Id.	Baracaldo...	Sociedad de altos hornos.	Beneficia el mineral de hierro en tres hornos altos y se están construyendo dos más, que producirán diariamente 200 toneladas de lingote entre ambos. En la actualidad prepara con hierros pudelados ó fundidos en sus talleres, carriles para caminos mineros y tranvías, viguetas de simple y doble T, hierros de ángulo, pasamanos, bastidores, medios redondos, ruedas templadas para vagones y columnas. El metal empleado en estas fabricaciones viene á ser de 10.700 toneladas de hierro dulce y 2.800 de hierro fundido, por año. En 1882 preparó además 89 toneladas de acero cementado. Cuando estén terminadas las nuevas instalaciones, se dedicará á producir acero de Bessemer y á fabricar carriles y planchas. El establecimiento está situado á orillas de la ría de Bibao.
Idem de *Santa Águeda*.	Id.	Id.	D. Eugenio Aguirre y Compañía.................	Se ocupa en el beneficio del mineral de hierro; el horno alto produce 637 quintales métricos de lingote, por semana. El hierro dulce procedente de la pudelación del colado, se emplea en la fabricación de hierros comunes y especiales. La producción anual es de unas 1.400 toneladas de metal afinado. La fábrica está situada á orillas del río Cadagua. En 1882 no funcionó el alto horno, limitándose al afino de lingote de otras procedencias.
Idem de *Santa Ana de Bolueta*............	Id.	Begoña......	Sociedad de Bolueta......	Beneficia el mineral de hierro en tres hornos altos, pudelando parte del hierro colado obtenido. Aparte de la preparación de hierros usuales, se dedica mucho á trabajos de forja y fundición para construcciones, habiendo ejecutado, entre otras obras, el mercado de Bilbao. Puede calcularse la producción en 2.800 toneladas de hierro dulce de afino y 300 de colado. La fábrica está situada en la margen izquierda del Nervión, dos kilómetros agua-arriba de donde llegan las mareas,
Fundición de metales.	Id.	Bilbao.......	Sres. Aguirre Jarazúa....	Se dedica á la construcción de candelabros, aparatos para baños, camas, y en general toda clase de objetos de latón y bronce.
Fábrica de planchas de cobre.............	Id.	Galdácano...	»	»
Ferrería de *San Bartolomé*..............	Id.	Miravalles...	Sres. Olaechea y Compañía	Beneficia el mineral en horno alto, afina el hierro colado y prepara hierros comunes y algunos especiales. La producción anual de hierro dulce es de unas 1.400 toneladas.

NOMBRES de los establecimientos.	SITUACIÓN. Provincias.	SITUACIÓN. Localidades.	NOMBRES DE LOS DUEÑOS.	OBSERVACIONES.
Ferrería de *San Francisco*..............	Vizcaya...	Sestao	Excmo. Sr. Marqués de Mudela..................	Esta ferrería, que tiene cuatro hornos altos, sólo se dedica, por ahora, á la producción de lingotes, que exporta al extranjero, y en especial á Alemania, para la fábrica de Krupp. El hierro colado que prepara viene á ser de unas 30.000 toneladas al año. El establecimiento está situado en la ensenada de Sestao, á orillas de la ría de Bilbao.
Idem de *Vizcaya*.....	Id.	Id.	Sociedad anónima........	Esta fábrica, que se está construyendo en la actualidad, se dedicará, en gran parte, á la preparación del acero de Bessemer y á la fabricación de carriles y planchas. Con arreglo al proyecto, debe tener gran importancia.
Idem de *San Juan Usánsolo*...............	Id.	Vedia.......	D. Fernando Campos.....	Beneficia en horno alto el mineral de hierro; afina el hierro colado y prepara piezas comunes y algunas especiales. La producción de hierro dulce es de unas 1.750 toneladas por año.

DENSIDAD Y RESISTENCIA DE LOS PRINCIPALES MATERIALES METÁLICOS.

METALES.	Densidades medias.	CARGAS DE ROTURA, POR MILÍMETRO CUADRADO. Extensión. — *Kilogs.*	Compresión. — *Kilogs.*	Flexión. — *Kilogs.*	Torsión. — *Kilogs.*	Módulo de elasticidad longitudinal para un milímetro cuadrado de sección.	Cargas, por milímetro cuadrado, correspondientes al límite de elasticidad. Extensión. — *Kilogs.*	Compresión. — *Kilogs.*	OBSERVACIONES.
Hierro forjado (barras delgadas)...........	7,79	43,5	35,0	70,0	70,0	25.000	17,0	17,0	Las densidades están tomadas de la obra de Claudel. Los guarismos relativos á resistencias, se han copiado unos y se han deducido otros, del tratado de Redtembacher sobre *Construcción de máquinas.*
Idem id. (id. gruesas).		33,0	26,0	40,0	45,0	15.000	13,0	13,0	
Palastro.............		35,0	28,0	»	»	14.700	12,0	12,0	
Alambre de hierro....		70,0	56,0	»	»	18.000	28,0	28,0	
Hierro fundido.......	7,20	10 á 13	55 á 72	30,0	30,0	10.000	4 á 6	13 á 17	
Acero fundido........	7,78	100,0	100,0	160,0	100,0	30.000	40	40	
Idem de calidad media		75,0	75,0	»	75,0	20.000	30	30	
Idem ordinario.......		36,0	36,0	»	36,0	18.000	14	14	
Bronce de cañones....	8,84	26,0	»	»	23,0	7.000	»	»	
Cobre forjado ó laminado..............	8,95	25,0	»	»	»	13.100	»	»	
Idem fundido........	8,85	13,0	»	»	20,0	»	»	»	
Latón...............	8,43	13,0	»	22,7	21,0	6.450	»	»	
Estaño...............	7,29	3,3	»	»	6,6	3.200	»	»	
Plomo...............	11,35	1,3	»	»	4,6	5.400	»	»	
Zinc.	7,19	2,0	»	»	»	»	»	»	

APÉNDICES Á LA PRIMERA PARTE.

PINTURAS Y BARNICES.

En algunas ocasiones se pintan, y á veces se barnizan además, ciertas obras de fábrica, de madera ó de metal, con objeto de preservarlas de la acción destructora de la atmósfera, ó de que tomen un aspecto más agradable. Prescindiendo de la cuestión artística, que sale fuera del programa de este libro, se dará alguna idea del *alquitranamiento;* de las pinturas *al óleo, al temple, á la cerveza, al fresco* y *á la encáustica*, y de los *barnices*. Como introducción al estudio de las pinturas, se dirá lo necesario acerca de los *colores*.

ALQUITRANAMIENTO.

Clases de alquitrán y modo de aplicarlo.—Más bien que pintura, el *alquitranamiento* es un enlucido formado de capas de alquitrán, que generalmente se aplica á construcciones que se hallan á la intemperie, sobre todo á obras de madera, á muros de adobes ó tapiales y á cubiertas de teja.

Dos son las clases de alquitrán que se conocen: el *mineral* y el *vegetal*. Como se ha visto en la primera y segunda sección, el alquitrán *mineral* es un producto líquido, de color negro, que se obtiene en uno de los períodos de la destilación de la hulla, para producir el gas de alumbrado; el alquitrán *vegetal* es un producto análogo al anterior, que se recoge al destilar las maderas. En las aplicaciones que se examinan, debe preferirse siempre el mineral, pues como el vegetal es bastante soluble en el agua, al poco tiempo desaparece.

Para alquitranar una superficie, se dan capas delgadas de alquitrán hirviendo, procurando que penetre por las juntas ó hendeduras de la obra; sobre la primera mano, y cuando está seca, se extiende otra en iguales condiciones, y así se prosigue, hasta dar las necesarias, que por lo general, son tres. Se invierte próximamente $1/5$ de litro de alquitrán para dar tres manos á un metro cuadrado de madera que hubiese estado ya alquitranada, y medio litro cuando se trata de madera nueva.

Calafateo y embreadura.—Algunas veces el enlucido anterior se aplica á superficies que se quiere hacer impermeables, como cascos de buques, calderas de máquinas de vapor, depósitos de agua, etc., y en tales casos hay que practicar otras dos operaciones, que son el *calafateo* y la *embreadura*. El calafateo consiste en introducir en las juntas, después de la primera mano de alquitrán, por medio de un cincel plano y sin filo, á golpes de mazo, estopa empapada en alquitrán, hasta que no admitan más. La embreadura se reduce á cubrir las juntas calafateadas con brea fundida. La *brea* ó *betún artificial*, es, según se explicó en la sección primera, el alquitrán mineral, privado de la mayor parte de los aceites esenciales que entran en su composición, y que se reemplazan á menudo con aceites fijos ó carburos: es un producto sólido y negro á la temperatura ordinaria, pero se funde á un calor poco elevado. La brea se extiende, como el alquitrán, con una brocha áspera.

COLORES.

SUBSTANCIAS COLORANTES.

Las pinturas propiamente dichas, tienen todas por base común los *colores;* las diferencias que existen entre unas y otras, consisten sólo en los diversos modos de aplicación de aquellos.

Los colores que suelen obtenerse directamente, son: el *blanco*, el *negro*, el *amarillo*, el *azul*, el *verde*, el *rojo* y varios *obscuros;* los demás y aun algunos de los expresados, se preparan mezclando, en diversas proporciones, otros colores, según las indicaciones de la práctica. Se reseñarán las substancias que para producir las coloraciones

mencionadas se usan con mayor frecuencia en las artes, y en especial, en la pintura de construcciones, que es la aplicación que más interesa conocer al Ingeniero.

Blancos.—Blanco de creta ó de España.—Es un carbonato cálcico, que se encuentra en la naturaleza y que se purifica por lociones sucesivas y prolongadas. Es color basto, poco fijo y que se usa mucho para adulterar los siguientes, ó para pinturas muy ordinarias.

Albayalde.—Es el carbonato de plomo, que, por lo general, está mezclado con hidrato ferroso, lo que hace que los objetos pintados con esta substancia, tomen al poco tiempo un tinte amarillo, debido á la conversión del hidrato ferroso en hidrato férrico. En el curso de Química se estudian los procedimientos industriales para la preparación del *albayalde*.

Blancos de Holanda, de Hamburgo y de Venecia.—Están formados de carbonato de plomo ó albayalde, mezclado con cantidades variables de sulfato de bario, que da al color la opacidad que le falta. Los blancos *de Venecia, Hamburgo* y *Holanda*, resultan respectivamente de mezclar una parte en peso de albayalde, con una, dos ó tres de sulfato bárico. Esta sal se emplea también en el comercio para adulterar el albayalde.

Blanco de plata.—Es carbonato de plomo puro. Presenta el inconveniente de que resulta cara la pintura, por serlo el color y necesitarse además mucha cantidad, porque cubre muy poco.

Observación sobre el uso de los blancos de plomo.—Los colores á que se refieren los tres párrafos anteriores se conocen con el nombre de *blancos de plomo*. El grado de pureza se puede determinar por un ensayo químico, pero en la práctica es más sencillo moler y desleir en la misma clase de aceite, los blancos que se quiere comparar; extenderlos en fajas uniformes sobre una lámina de vidrio, y ver el resultado de cada uno, después de expuestos por algún tiempo al aire.

Los colores de base de plomo, tienen el gravísimo inconveniente de ejercer una acción tóxica en la economía animal, á causa de las partículas que se introducen mecánicamente en el aparato digestivo. Su efecto es tal, que producen una violenta enfermedad que empieza con un cólico *(cólico saturnino ó de pintores)*. En un principio, y hasta que los operarios reciban el tratamiento facultativo, conviene hacerles tomar limonadas sulfúricas.

Blanco de zinc.—Para obviar los defectos que presentan los blancos de plomo, hay tendencia á sustituirlos por el *blanco de zinc*, que es óxido de este metal, más ó menos purificado; presenta la desventaja de ser más caro, pero á pesos iguales, cubre mayor superficie que el albayalde. El blanco de zinc se llama también *de malva rosa* y *de nieve*.

Cal viva.—Se emplea sobre todo en la pintura al temple, añadiéndole casi siempre un poco de alumbre ó de arcilla, con objeto de darle más solidez. Desleída en aceite se seca pronto, pero amarillea al cabo de algún tiempo.

Sulfato cálcico natural ó yeso.—El *yeso* puro, bien molido y cernido se emplea para colorir papeles y en la pintura al temple, que resulta muy sólida usando este color. Kuhlmann ha propuesto aplicar el yeso á pinturas más delicadas, fijándolo con gelatina ó almidón.

Sulfato bárico ó blanco de barita.—Es un color muy sólido, pero que cubre mal y se ennegrece con las emanaciones sulfurosas; se usa, desleído en cola, para la fabricación de papeles pintados. Se emplea asimismo, como ya se ha dicho, para preparar ó adulterar algunos blancos de plomo. Kuhlmann ha propuesto también que se aplique á la pintura, fijándolo con almidón, gelatina ó disoluciones silíceas.

Otros blancos.—Existen otros blancos de aplicación menos común que los anteriores, entre los cuales pueden citarse, el *sulfuro de zinc* ó *blenda*, el *óxido de antimonio* y el *oxicloruro* del mismo cuerpo, el *sulfato de plomo* ó *albayalde de Mulhouse*, y el *sulfato*, el *antimoniato*, el *antimonito* y el *tungstato plúmbicos*.

Negros.—Negro de humo.—Es carbón muy dividido, que se obtiene por la combustión incompleta de substancias vegetales ó animales. El del comercio se prepara generalmente con hulla grasa. Á causa de su poca densidad se deslíe muy mal en agua.

Negro de marfil.—Se obtiene por la carbonización y destilación del marfil, en vasos cerrados. Cubre más que el negro de humo, pero es mucho más caro; de modo que sólo se usa para pinturas finas.

Negro de composición.—Es el residuo de la calcinación, en vasos cerrados, del azul de Prusia ú otros productos cianurados. La materia que se obtiene, ofrece un hermoso color negro-azulado; es muy secante y bastante sólida. Considerada químicamente, es carburo de hierro; mezclada con albayalde da lugar al *gris de plata* y al *de perla*.

Tinta de China.—Este color, aunque no se emplea en las pinturas, tiene tanta importancia en las artes del dibujo, que conviene decir siquiera su composición. La *tinta de China* se fabrica desde tiempo inmemorial en la región que le da nombre; se ignora el procedimiento que siguen los chinos, sabiendo sólo que está formada de carbono muy dividido, cementado con goma arábiga ó gelatina, y que se aromatiza con almizcle ó alcanfor. En Europa se prepara hoy esta substancia, habiendo conseguido obtenerla de excelentes condiciones; cada fabricante tiene su receta especial.

Amarillos.—Muchas son las substancias orgánicas y minerales, que producen estos colores; se indicarán las principales.

Ocres amarillos.—Son arcillas mezcladas con hidrato férrico. Los *ocres* tienen las propiedades generales de las arcillas, y debe exigirse que se reduzcan á polvo con facilidad y no sean arenosos. Se mezclan perfectamente con los blancos, para producir tonos amarillos de menor intensidad.

Amarillos de cromo.—Son, por lo general, cromatos plúmbicos, cuyos matices varían desde el amarillo de canario al anaranjado. No pueden mezclarse con el blanco, porque producen colores poco sólidos; se emplean raras veces en la pintura ordinaria, por ser caros y cubrir poco.

Amarillo mineral.—Es un oxicloruro de plomo, que da un color sólido, empleado en pintura de decoraciones y coches; cubre bien y se ennegrece poco. Se realza á menudo su tono con amarillo de cromo.

Amarillo de Nápoles.—Es el antimoniato de plomo, que da tonos muy sólidos y de gran riqueza. Se usa principalmente para imitar el tono de oro.

Otros amarillos.—Entre las otras muchas substancias minerales, que dan colores amarillos y que se emplean en las artes, se citarán las siguientes: la *tierra de Italia*, que se asemeja mucho á los ocres amarillos; el *amarillo de Marte*, que se prepara precipitando el óxido de hierro de una disolución ferrosa con un carbonato alcalino ó con cal; el *amarillo de ultramar*, ó cromato bárico; el *cromato cálcico;* el *amarillo de botón de oro*, ó cromato de zinc; el *amarillo de cadmio*, ó sulfuro de dicho metal; el *oro musivo, bronce de pinturas* ó *polvos de bronce*, de que más adelante se hablará; el *amarillo de antimonio, mineral superfino* ó *de Mérimée*, que participa á la vez del amarillo de

Nápoles y del mineral; el *yoduro de plomo;* el *sulfato básico* y el *arsenito del mismo metal;* el *oro de Alemania*, que es una aleación de cobre y zinc, reducida á hojas delgadísimas, que se mezclan con goma y se extienden en conchas, como se hace con el oro y la plata; otro *amarillo mineral*, que es un sulfato de mercurio; el *oro metálico*, que se emplea en hojas, en polvo, en cal (cuando proviene de la afinación de menas de plata auríferas) y en conchas; y el *oropimente*, ó sulfuro amarillo de arsénico.

De las materias amarillas orgánicas, que se utilizan como colorantes, se indicarán la *gutagamba*, la *cúrcuma*, el *cártamo* ó *alazor*, la *laca de gualda* y el *amarillo índico*, que según Erdman es el depósito de la orina de los camellos alimentados con el fruto del *mangostana mangifera*, y según otros se prepara en la India secando al sol los orines de búfalo.

Azules.—Azul de Prusia.—Es el que más se emplea en la pintura de edificios. Químicamente considerado, es ferrocianuro férrico, que se prepara tratando una sal soluble férrica por el ferrocianuro de potasio, verificándose la siguiente reacción:

$$3\left\{(FeCy^6)^{IV}\,K^4\right\} + 2\left(\begin{matrix}(SO^{2''})^3\\(Fe^2)^{VI}\end{matrix}\right\}O^6\Big)$$

$$= 6\left(\begin{matrix}SO^{2''}\\K^2\end{matrix}\right\}O^2\Big) + (FeCy^6)^3\,(Fe^2)^2.$$

Es un color intensísimo, bastando para obtener el *azul celeste* mezclar un gramo de *azul de Prusia* con 90 de albayalde. Debe conservarse sin desleir hasta el momento de usarlo, pues de lo contrario se espesa y no puede extenderse por igual. Mezclado con blancos, resultan tonos bien marcados, pero que se enverdecen con el tiempo. El azul de Prusia es muy estable, por lo general; sin embargo, se destruye por completo con las emanaciones salitrosas de los muros.

En el comercio se encuentra en forma de panes ó en trozos de color azul pronunciado, con reflejos rojizos y fractura concoidea.

El azul de Prusia mezclado con ocres amarillos, da verdes más ó menos intensos: los que se obtienen agregándole amarillos de cromo, son muy brillantes, pero poco sólidos.

El *azul de Turnbull* se considera en el comercio como idéntico al

de Prusia, pero químicamente es el precipitado que resulta de tratar una sal ferrosa por el ferricianuro potásico.

Azul de ultramar ó ultramar.—El *ultramar natural* existe en el mineral llamado *lapislázuli* ó *lazulita*, que proviene de Oriente. Para preparar el color se somete, por varios días, la piedra molida á la acción del vinagre fuerte, que disuelve la cal que se halla mezclada mecánicamente. Las demás substancias perjudiciales se extraen mezclando la materia con un betún compuesto de resina, cera y aceite de linaza cocido. Una serie de lociones con agua tibia, produce azules de diversas calidades y tonos.

El *ultramar artificial*, mucho más barato que el natural, se fabrica principalmente en Francia y Alemania: sin entrar en detalles acerca de su preparación, bastará consignar que las materias primeras que se emplean, á lo menos en Alemania, son el caolín, el sulfato y carbonato sódicos, el azufre y el carbón vegetal.

El ultramar es inalterable al aire é insoluble en el agua, en el alcohol, en el éter y en todos los aceites que se usan en pintura. Tiene multitud de aplicaciones industriales, pero por ser de poco cuerpo y de coste elevado, no suele usarse más que para dar la última mano en la pintura de construcciones.

Azul de cobalto ó de Thenard.—Este hermoso azul puede considerarse como una mezcla de fosfato alumínico y de óxido de cobalto: se vende en el comercio en polvo y en trozos. Resiste perfectamente á la acción del calor, de la luz, de los ácidos, de las emanaciones sulfurosas, del cloro y de los álcalis; cubre tanto como el ultramar, pero da cierto tono violado. Según Boullai-Marillac, se obtiene un azul más rico y aterciopelado reemplazando la alúmina con cal. Como el ultramar, no suele emplearse en las construcciones civiles más que para dar la última mano.

Ultramar de cobalto.—Se prepara calcinando al rojo cereza una mezcla, en partes iguales, de alúmina gelatinosa y nitrato de cobalto. Tiene un ligero tono violado, lo mismo que el azul de Thenard, pero se usa bastante en la pintura al óleo.

Azul ó esmalte.—Este color, que usaron ya los griegos y los romanos, debe considerarse como un silicato doble de potasio y cobalto, mezclado con alúmina, magnesia, óxidos de hierro y níquel, etc. Se prepara tostando el mineral llamado *esmaltina* ó *cobalto blanco*, que es un arseniuro de dicho metal, para desalojar el arsénico; se pulveriza y se funde, agregándole arena y carbonato potásico, resultando una substancia, que tratada con agua fría, se hace muy quebradiza; se deja secar y se muele.

El esmalte no se deslíe bien en aceite, á causa de la arena que encierra, de suerte que no es á propósito para la pintura al óleo; se emplea en las pinturas al temple y al fresco, para azular los papeles y lienzos blanqueados y en muchas otras aplicaciones industriales.

Laca mineral.—Substancia de hermoso color de lila, que resulta de la combinación de los óxidos de cromo y estaño; se usa mucho en Inglaterra para pintar loza y porcelana; puede aplicarse con ventaja á la pintura al óleo y á colorir papeles.

Azul de montaña ó cenizas azules.—El primer nombre se reserva ordinariamente para el color natural, que proviene de la *azurita* ó sea hidrobicarbonato tricúprico. Las *cenizas azules* vienen á tener la misma composición, sobre todo las preparadas en Inglaterra, que son las mejores: las francesas están siempre mezcladas con cal cáustica y yeso, y tienen poca solidez y tonos menos ricos que aquellas. Las cenizas azules se aplican sobre todo á la pintura de papeles y decoraciones; en la pintura al óleo no se usan con frecuencia.

Índigo ó añil.—Esta materia colorante se extrae por maceración de las hojas y ramas del *indigofera* ó *nerium*, del *polygonum tinctorium* y del *isatis tinctoria*, que se encuentran en América, la India y Filipinas. El *añil* del comercio puede considerarse como una mezcla de cal y del principio colorante del índigo, ó *indigotina;* es insoluble en la mayor parte de los líquidos, exceptuando el ácido sulfúrico; los cuerpos grasos lo enverdecen ó ennegrecen, por cuya razón, así como por la de no extenderse bien la materia desleída en aceite, se emplea muy poco en la pintura al óleo; en cambio se usa mucho en las pinturas al temple, siempre que no estén expuestas á la acción del sol, obteniéndose tonos más ricos que con el azul de Prusia.

Verdes.—En general se preparan los verdes mezclando amarillos con azules; pero en el comercio se encuentran muchas substancias minerales que dan directamente aquellos colores, y conviene conocer las más usadas.

Verde de Rinnmann, de cobalto ó de zinc.—Es una mezcla, ó quizá una combinación, de óxidos de zinc y cobalto, que se obtiene des-

liendo aquel óxido en una disolución de sulfato ó nitrato de cobalto y calcinando la mezcla hasta el rojo obscuro. El color posee excelentes condiciones, pero no se usa mucho por su elevado coste.

VERDE DE CROMO Ó VERDE ESMERALDA.—Es el óxido crómico (Cr^2O^3), insoluble en el agua y en los ácidos, que se puede preparar por las vías seca y húmeda. Produce tonos ricos, pero algo pálidos, y es un color muy sólido que se emplea en la pintura al óleo y en la fabricación de telas y papeles.

VERDE DE MILORY Ó EN GRANOS.—Parece que esta substancia, que reune todas las buenas cualidades que se pueden exigir á un color, se compone de sulfatos de bario y plomo y de ferrocianuro y cromato potásicos. Se expende en polvo y en granos, y se emplea mucho en la pintura al óleo.

LACA VERDE.—Se diferencia del verde de Rinnmann, en que el óxido de cobalto se reemplaza con el de cobre. Resiste muy bien á la acción del aire y tiene la misma aplicación que el anterior.

VERDE DE SCHEELE, VERDE MINERAL Ó VERDE PAPAGAYO.—Este color, cuando está puro, es simplemente arsenito de cobre, pero el del comercio encierra siempre óxido del mismo metal. Se prepara tratando una disolución de sulfato cúprico por otra de arsenito potásico; el precipitado se lava con agua caliente y se seca después á un calor suave. Es poco sólido, pero se emplea bastante, en especial para colorir papeles. Tiene el inconveniente de ser una substancia en extremo venenosa; según Louyet, el verde papagayo de los papeles, se descompone en contacto del aire y produce un desprendimiento de hidrógeno arseniado, que es muy tóxico.

VERDE INGLÉS.—Con este nombre se conocen muchas variedades de color verde. Se obtienen mezclando el verde papagayo con sales blancas, como el sulfato bárico ó el cálcico. Los tonos varían desde el verde de manzana hasta el verde de hoja seca. El *verde inglés* es muy venenoso, cubre bastante, es poco sólido, y ofrece la desventaja de hacer cambiar el tono á otros muchos colores. Su precio no es elevado, lo que explica que se use bastante en las pinturas ordinarias al óleo y al temple.

VERDE DE SCHWEINFURT.—Está formado de ácido arsenioso, óxido cúprico y ácido acético; es color sólido que no se altera por el aire, el calor, ni las emanaciones sulfurosas; es soluble en los ácidos nítrico y clorhídrico hirvientes; si la solubilidad no es completa, proviene de que el color está mezclado con sulfato bárico. El *verde de Schweinfurt* se usa en pintura con mucha frecuencia.

VERDE DE MITIS Ó DE VIENA.—Es el arseniato cúprico, que se prepara descomponiendo el sulfato de cobre con el arseniato potásico, y lavando y secando el precipitado; tiene color verde de prado, de varios tonos; es sal muy venenosa, que pocas veces se encuentra pura en el comercio; posee bastante solidez y se emplea en la pintura al óleo.

VERDEMONTAÑA Ó DE BRUNSWICK.—Es un hidrocarbonato dicúprico, que proviene unas veces de la *malaquita* natural, y se prepara otras tratando el sulfato cúprico por el carbonato sódico; en este último caso es cuando se le aplica el nombre de *verde de Brunswick*. Tanto éste como el *verdemontaña* son venenos activos y colores de poca fijeza. En el comercio se encuentran, por lo general, mezclados con sulfato de bario.

En Alemania se conoce también con la denominación de *verde de Brunswick* al oxicloruro de cobre, que se usa asimismo en pintura.

VERDE DE BREMA.—Se diferencia del verdemontaña artificial, en que se reemplaza la mitad del carbonato sódico con una cantidad igual de potasa cáustica. El color tiene un tono azul-verdoso; es poco sólido.

OTROS VERDES.—Además de los verdes minerales reseñados, se emplean otros, acerca de los cuales bastarán ligerísimas indicaciones. Son los siguientes:

Tierras verdes de Verona y de Chipre. Colores muy sólidos, que se aplican en especial á pinturas artísticas.

Ocres verdes. Provienen de la mezcla de ocres amarillos, con ácido clorhídrico, ferrocianuro potásico y sulfato férrico. Son poco sólidos.

Verdes de zinc. Son unas veces cianuro ferroso-zíncico, y otras óxido doble de zinc y cobalto.

Cinabrio verde, ó sea mezcla de amarillo de cromo y azul de Prusia. Este color no es nada sólido.

Verde gris ó subacetato cúprico; sal incristalizable y muy venenosa, que da un color poco sólido.

Verdete cristalizado, ó acetato cúprico, que se encuentra en cristales gruesos, pareciéndose, por lo demás, en sus propiedades al anterior.

Verde veronés. Color muy sólido, de base de arseniato cúprico; tiene excelentes condiciones, pero su elevado precio hace que sólo se emplee en pinturas artísticas.

Verdes orgánicos. Entre los verdes orgánicos, sólo se citará el *verde-vejiga* ó *verde vegetal*, que es una laca formada con la materia colorante del *rhamnus catharticus* y la alúmina ó la cal. Es uno de los pocos verdes inofensivos; no se emplea en pinturas al óleo por su poca solidez, pero se usa en acuarelas y para las aguadas verdes de los planos.

Rojos.—Minio ó azarcón.—Según Dumas, se puede considerar como un plumbato plúmbico, $\left.\begin{matrix} Pb''^{2} \\ Pb^{IV} \end{matrix}\right\} O^4$. Su preparación consiste en calentar al aire, por bastante tiempo y sin fundirlo, el litargirio (óxido plúmbico). Es color que se usa mucho, generalmente sólo, en manos de pintura ó de imprimación. Es caro y suele falsificarse con polvo de ladrillo ó con rojo inglés: para reconocer si es legítimo, se toma una pequeña cantidad, se coloca encima de una placa de palastro y se calienta al rojo; si es puro, se transforma en litargirio, quedando toda la masa amarilla; por el contrario, la presentación de puntos rojos ó negros acusará las impurezas.

Bermellón.—El mercurio y el azufre combinados en cierta proporción, dan origen á un compuesto rojo, que cuando está en masa cristalina toma el nombre de *cinabrio*, y cuando en polvo el de *bermellón*. Éste se emplea en pintura, usándose á veces el natural, pero más aún el artificial, que se obtiene, ya por la vía húmeda, ya por la seca. Se fabrica en España con productos de Almadén, aunque el mejor proviene de China. El bermellón se suele adulterar con ocres ú otras substancias rojas. Se reconoce calentando un poco en una vasija: si se volatiliza todo, es puro; si quedan residuos, contendrá substancias extrañas.

Rojo inglés ó cólcotar.—Con estos nombres se conoce un rojo, que no es otra cosa más que el anhidrido férrico y que generalmente se obtiene como producto secundario en la fabricación del ácido sulfúrico concentrado, y mejor aún, del de Nordhausen. Tiene el aspecto de ocre rojo, aunque de matiz más intenso.

Se debe escoger de color uniforme, pues algunas veces presenta puntos negros, y en este caso es de inferior calidad. Ofrece extraordinaria dureza y se emplea también para bruñir metales y vidrios.

Ocres rojos.—Los ocres amarillos se convierten en rojos por la calcinación, como se vió al tratar de las arcillas. Existen ocres rojos naturales, pero son muy bastos, así es que se prefieren los procedentes de los amarillos. Entre los naturales, el más usado es el *almazarrón* ó *almagre*, que se emplea principalmente para pintar baldosas y para señalar trazos en la labra de maderas y piedras; sin embargo, gran parte del almagre que se consume no es natural, sino preparado con ocres amarillos.

Otros rojos.—Entre las substancias minerales, conviene conocer las siguientes: el *bol arménico*, de que ya se habló al estudiar las arcillas; la *cal metálica*, muy usada en Inglaterra, y que es el arseniato cobáltico natural ó artificial; la *rosa de cobalto*, que proviene de la calcinación de una sal de cobalto mezclada con magnesia; el *rojo obscuro*, resultado de la fusión, en un crisol de barro, de 10 partes de minio y 1 de cólcotar; la *escarlata* ó yoduro mercúrico; el *rojo de púrpura*, cromato de mercurio ó de plata; la *púrpura de Casio*, que es, según Figuier, una aleación de estaño y oro, y, según otros autores, el estanato áurico; y el *rejalgar*, natural ó artificial, ó sea el bisulfuro de arsénico.

Entre los colores rojos vegetales se citarán la *laca* y el *carmín de rubia;* la *laca de Fernambuco*, extraída de maderas rojas del Brasil, y el *rojo de cártamo* ó *de alazor*.

De los rojos animales, se indicarán el *carmín de cochinilla*, extraído del insecto de este nombre, que se cría en abundancia en Canarias, y las *lacas carminadas*.

Colores obscuros.—Entre las substancias colorantes que dan tonos obscuros, se encuentran: La *tierra de sombra*, denominación bien impropia, pues que la última palabra se deriva de *Umbría*, provincia de los antiguos Estados pontificios; está compuesta principalmente de óxidos de hierro y manganeso, y calentada toma un color rojo obscuro. La *tierra de Siena*, que debe su coloración al óxido de hierro que contiene, y que reducida á polvo, después de calcinada, da un tono rojo particular, con el que se imita el matiz y las vetas de la caoba, en la pintura de edificios. La *tierra de Colonia* ó *de Cassel*, que es un lignito ferroso y pulverulento, que da un color obscuro muy agradable y sólido, de que se hace uso en las pinturas al óleo y

al temple. El *obscuro de Van-Dyck,* que es el color más sólido que se conoce; se emplea sobre todo en la pintura al óleo, y procede unas veces de la calcinación de un ocre amarillo y otras de la del cólcotar. Los *betunes naturales*, de que se habló en lugar oportuno. Y por último, y prescindiendo de otros menos importantes, la *sepia*, cuyo origen y aplicación son bien conocidos.

COMPOSICIÓN DE TONOS.

Colores primitivos y secundarios.—Los colores que se han mencionado, bastan para producir gran número de tonos por su mezcla en diversas proporciones.

Una pequeña cantidad de rojo mezclada con gris, da á éste un tono cálido que no tiene de suyo. Mezclas de amarillo, azul y rojo, darán siempre grises de diversos tonos. El amarillo agregado al rojo, producirá anaranjado; se obtendrá el violado mezclando rojo y azul, etc. En general, la composición de tonos se funda en que, por medio de los colores *primitivos*, ó sean el amarillo, el rojo y el azul, se pueden preparar todos los demás. Si se suponen colocados en una circunferencia los nombres de los colores, en el orden siguiente, rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violado, de modo que correspondan á los seis vértices de un hexágono regular, resultará cada uno de los tres colores *secundarios*, mezclando los dos primitivos contiguos á él. La mezcla de un color secundario y uno de los primitivos, entre que aquel está comprendido, da un nuevo tono más próximo á este color, de suerte que se puede pasar por grados insensibles, del azul al rojo, del rojo al amarillo y del amarillo al azul. La mezcla de un color primitivo y del secundario opuesto, produce gris; porque de cualquier manera que se opere, se realiza la unión de los tres colores. Sucedería lo mismo si se mezclasen dos colores secundarios.

Estas observaciones demuestran, que no se obtienen colores muy vivos más que mezclando dos colores primarios; la adición de un tercer color, empaña siempre el tono. Además, hacen ver cómo se debe proceder para obtener, sin tanteos, un gris determinado: si el color es demasiado verde, se agrega rojo; si es muy azul, se añade anaranjado; si está demasiado amarillo, se mezcla con violado; en una

palabra, se neutraliza la influencia de un color dominante adicionando el opuesto.

Los colores blancos y negros sirven respectivamente para aclarar y obscurecer los tonos.

La mezcla de colores se hace siempre después de molerlos y desleirlos.

MOLIENDA Y DESLEIMIENTO.

Una vez obtenidas las materias colorantes, es necesario molerlas y desleirlas.

Molienda.—La molienda puede hacerse á brazo ó á máquina.

La molienda á brazo se verifica extendiendo encima de una losa de mármol pulimentada, cierta cantidad de color reducido á polvo, y mezclado con la cantidad necesaria de aceite, agua, gelatina ú otras substancias, según los casos, para que se forme una pasta bastante consistente; después se muele durante el tiempo necesario, con una *moleta* de mármol, sobre la cual actúa con fuerza el operario. Ciertos colores, como el blanco, el amarillo y el rojo, se muelen con facilidad; en tanto que los demás necesitan mayor trabajo para conseguirlo.

Una vez molido el color, se recoge con un cuchillo de punta redondeada, y se echa en vasijas de barro, barnizadas interiormente, que se cubren con una capa de agua ó aceite, de más de 2 centímetros de espesor, á fin de que el aire no altere las materias.

La molienda á máquina consiste en echar la mezcla del color y del líquido que sirve de vehículo, entre dos muelas horizontales, que se mueven en sentidos contrarios; la pasta sale por los bordes, y se recoge. Se guarda, como se ha dicho, hasta el momento de usarla.

Desleimiento.—Cuando se van á usar los colores, se deslíen en la substancia que corresponda, según la clase de pintura, é inmediatamente se hacen las mezclas necesarias para obtener el tono que convenga.

BROCHAS.

Los colores se extienden con brochas, cuya forma y tamaño han de ser adecuados al objeto que se trate de pintar. Suelen estar for-

madas por un mango de madera y un penacho erizado de cerda ó de pelo de jabalí. Algunos fabricantes mezclan crines ó ballenas con las cerdas: la falsificación se conoce mojando las brochas, pues si después de sacudir ligeramente el agua, se enderezan los pelos, y presentan una superficie unida, las brochas son buenas; al paso que hay que desecharlas, si los pelos se encorvan. Deben mojarse las brochas antes de usarlas, para que hinchándose algo el asta, se apriete la ligadura de las cerdas.

Las brochas más pequeñas que usan los pintores para pintar filetes y líneas, se llaman *de filete;* las que contienen menos de 50 gramos de cerda, *de pulgada;* las que encierran de 50 á 125 gramos, *de preparación;* las que tienen de 150 á 180 gramos, *de mano*, y *brochones* ó *brochas grandes*, aquellas en que el peso de la cerda está comprendido entre 200 y 275 gramos.

Las brochas ordinarias, cuyo penacho tiene más de 27 milímetros de longitud, suelen ser de pelos grises, y las más pequeñas de pelos blancos.

PINTURA AL ÓLEO.

Aceites.—El aceite que ordinariamente se emplea en la pintura de construcciones es el de *linaza*, substancia viscosa, de color amarillo-verdoso y olor desagradable; es muy secante, y más aún agregándole litargirio, y haciendo cocer la mezcla; en tal caso, toma un matiz pardo-rojizo. Este aceite se prepara tostando la semilla del lino y moliéndola después. Se debe procurar que sea puro, pues suele venir falsificado del extranjero con aceite animal, que lo empeora mucho. El aceite de linaza tiene el inconveniente de enranciarse con facilidad.

Para pinturas finas, se emplean aceites de *nueces*, *adormideras*, *piñones*, etc. Si están puros son incoloros: algunos de ellos son poco secantes, pero se logra modificarlos cociéndolos con litargirio. Los aceites que se someten á esta operación, se llaman *grasos* ó *litargiriados*.

Secantes.—Para que los agentes exteriores no estropeen las pinturas, conviene que éstas se sequen pronto. Los colores claros, á ex-

cepción de los de zinc, son bastante secantes para que no se necesite añadir ningún ingrediente al aceite de linaza en que se deslíen; pero los obscuros, y sobre todo el negro, exigen, no sólo el empleo de aceite cocido con litargirio, sino la adición de un secante en el momento de usarlos. Los secantes que se añaden con más frecuencia son el litargirio, previamente molido del mismo modo que los colores, y el aguarrás.

Cuanto mayor es la proporción de secante, la desecación se verifica con más rapidez; pero en cambio los colores se adhieren peor al objeto á que se aplican, formándose grietas y resquebraduras. Por esta razón no se debe recurrir á secantes más que para colores que lo sean muy poco, ó cuya desecación convenga acelerar por cualquier causa.

Para colores obscuros, basta añadir al aceite ordinario de linaza tres decagramos de litargirio, por kilogramo de color molido. El negro molido en aceite, se hace bastante secante con sólo mezclar dos decilitros de aguarrás, por kilogramo de color.

En general, no conviene adicionar secante á los colores de base de plomo; y en todos los casos, aquel ingrediente ha de incorporarse en el momento de ir á aplicar la pintura, pues, de lo contrario, los colores se espesan y hacen hebra en la brocha.

Modo de aplicar la pintura.—1.° EN MUROS.—En primer lugar hay que preparar el paramento con un enlucido de cal ó yeso, según los casos. Sobre el enlucido, después de seco, se dan una ó dos manos con aceite de linaza puro ó mezclado con minio, para hacerle más secante, tomando entonces el paramento un tinte rosado claro; estas manos, que sirven para preparar ó *abrevar* el muro, deben darse de modo que penetren todo lo posible. Seca la última mano, se dan dos ó más de *imprimación*, de color blanco (generalmente de zinc ó plomo), molido y desleído en aceite. Sobre la última mano de imprimación, una vez seca, se tienden dos ó más del color que se desee, debiendo aumentar el número de manos, á medida que se quiera obtener mayor brillo y uniformidad.

Las pinturas al óleo más sencillas, cuando se emplean en muros, comprenden por lo menos: una mano de preparación, una de imprimación y dos de color.

Cuando se hayan de pintar paredes húmedas ó salitrosas, se em-

pieza por quitar el enlucido de yeso ó cal que las cubra, y se les da otro con buenas substancias hidráulicas. Se aplican luego con una brocha ancha varias capas de una de las dos composiciones siguientes, propuestas respectivamente por Darcet y Thenard. La primera se prepara con una parte de cera fundida y tres de aceite de linaza cocido con $^1/_{10}$ de litargirio: la segunda, con dos ó tres partes de resina ordinaria fundida, y una de aceite, también litargiriado. Esta última es la que se emplea de ordinario; la anterior es cara y se reserva para muros que hayan de recibir pinturas finas. Estos betunes hidrófugos se extienden á una temperatura de unos 100°, teniendo cuidado de calentar previamente la pared con un *escalfador* (1): cuando el enlucido hidráulico absorbe la primera mano, se da la segunda y se continúa así hasta que no absorba más. Dispuesta de este modo la superficie, se cubre con la primera mano de imprimación.

2.° En maderas.—Se empieza por dar una mano de preparación con aceite de linaza sólo, ó de imprimación blanca muy clara. Después se empastan bien las oquedades, grietas y venteaduras con masilla de vidriero, si el color es obscuro, ó con betún de albayalde, si es claro, efectuando la introducción con una espátula ó con la hoja de un cuchillo flexible. Se aplican en seguida una ó dos manos de imprimación, y las de color necesarias para conseguir el efecto que se desee.

Si la madera es muy resinosa y tiene muchos nudos, hay que frotarlos con aguarrás ó ácido nítrico antes de dar mano alguna de preparación, á fin de evitar que salga la resina y manche el color.

3.° En metales.—Se limpia bien el metal, sobre todo si está oxidado; se le da luego una mano de imprimación de minio, que es el color que se adhiere con más solidez á los metales, y en particular al hierro; después de seca, se da otra si ha quedado poco cubierto con la primera, y, finalmente, se extienden las de color que fueren necesarias, aunque, por lo común, no pasan de dos.

Precauciones que deben observarse.—1.ª No se debe preparar á la vez más que la cantidad de colores estrictamente necesaria para el trabajo que vaya á ejecutarse, á fin de conseguir que

(1) Consiste el *escalfador* en un plato de metal con bordes y mango, en el que se ponen brasas encendidas que lo caldean.

los tonos sean uniformes, pues los colores son más vivos y brillantes cuando están recién desleídos. 2.ª Todo color desleído en aceites puros ó grasos, ó mezclado con secantes, ha de tener la fluidez necesaria para que no haga hebra en la brocha. 3.ª Es preciso remover, de cuando en cuando, el color antes de introducir la brocha, para que tenga siempre la misma fluidez é idéntico tono; de no proceder así, las materias se precipitan en la vasija, espesándose el color en el fondo y aclarándose en la superficie. Cuando, á pesar de esta precaución, se observa que se han espesado las substancias en la parte inferior, se añade un poco de aceite. 4.ª Las brochadas deben darse con uniformidad, y de suerte que, en lo posible, sean paralelas. 5.ª Hay que cuidar de no trabajar con demasiado color en la brocha, y de no acumularlo en las molduras que hayan de quedar con perfiles bien dibujados. 6.ª No conviene dar una mano hasta que esté seca la anterior, lo que se reconoce aplicando el dorso de la mano sobre el objeto pintado. Si se pasa la brocha por una parte húmeda, la capa precedente absorbe el aceite de la nueva, y el color queda mate y granilloso. En este caso, hay que dar otra mano á toda la superficie, ó barnizar la pintura. 7.ª Cuando la pintura ha de estar expuesta al sol antes de secarse, se deben desleir poco los colores y emplear aceite mezclado con algo de aguarrás: de lo contrario, la pintura se llena de ampollas, que influyen desfavorablemente en el aspecto y en la duración. 8.ª Cuando se hayan de pintar paredes, maderas ó metales que lo hubieran estado ya, es preciso hacer saltar la pintura antigua para que se adhiera bien la nueva. Se facilita esta operación, untando previamente aquella de aguarrás, y haciendo pasar por encima un escalfador ó una estufilla de alcohol con eolípila, que dirige la llama horizontalmente al punto que se quiere, y agrieta la pintura, la cual se puede levantar raspando con una lámina triangular de acero, con tres filos. Descubiertas las superficies, se lavan con agua de jabón, que se da con una brocha áspera, antes de aplicar la pintura nueva.

Cantidades de color que deben emplearse.—La cantidad de color necesaria para cubrir un metro cuadrado varía, no sólo con la naturaleza del color, sino con el estado de la superficie que ha de pintarse. Por término medio, en una superficie perfectamente abrevada, se pueden dar tres manos de imprimación blanca ó de

tono gris claro con 56 ó 40 decagramos de color. Para la misma cantidad de obra bastan de 20 á 25 decagramos de pintura negra.

PINTURA Á LA COLA Ó AL TEMPLE.

Generalidades.—La diferencia esencial entre la pintura al óleo y la que se va á estudiar, consiste en que en ésta los colores se mezclan con agua para molerlos y se deslíen en una disolución de cola ú otra substancia gelatinosa. La pintura al temple es mucho más económica que la anterior, y aun cuando es menos duradera, se conserva aceptablemente, si se ha preparado bien y no está expuesta á la acción de la lluvia. Por regla general, se emplea 1 parte de cola de buena calidad (1), por 5 de color molido: se conoce que la consistencia es la conveniente cuando el color empieza á formar algo de hebra al sacarlo con la brocha. Debe cuidarse de que la cola no esté en exceso, porque entonces la pintura se resquebraja; por el contrario, si hay poca gelatina, el roce más pequeño basta para que desaparezca el color.

La cola se disuelve en agua caliente y se añade líquida á la materia colorante, previamente molida.

Modo de aplicar la pintura.—Es análogo al explicado para la pintura al óleo. Casi siempre se principia por dar una ó varias manos de cola caliente sobre la superficie que se ha de pintar; estas manos de *encoladura* reemplazan á las que se extienden para abrevar las superficies que se han de pintar al óleo. Se dan en seguida una ó más manos de imprimación que se aplican tibias, y, por último, las que se necesiten de color ó pintura.

Se calcula que, por término medio, se invierten 125 gramos de color para pintar un metro cuadrado.

Pinturas barnizadas.—Á veces la pintura al temple, así como también la al óleo, se apomazan y barnizan, como más adelante se verá. De este modo se consiguen con pinturas al temple, sobre todo en el interior de edificios, resultados excelentes y relativamente económicos. La pintura, que se suele llamar *chipolin*, está formada por muchas capas de color á la cola, apomazadas con esmero y cubiertas con dos ó tres manos de barniz de alcohol.

(1) Suele emplearse la cola de retazos para las pinturas que no han de barnizarse, y la de pergamino para las que hayan de recibir brillo.

PINTURA Á LA CERVEZA.

Esta pintura es de poco uso; su mayor aplicación es para pintar maderas ordinarias, imitando á otras de mayor precio. Se empieza por dar dos ó más manos de imprimación con pintura al óleo del color que se desee. Cuando están bien secas, se aplican otras manos de color molido con agua y desleído en cerveza (1), y después que se hayan secado, se cubren con dos ó tres manos de un barniz de alcohol. Esta clase de pintura se emplea principalmente para imitar al roble: en tal caso las manos de imprimación se dan con ocre amarillo y blanco de plomo ó zinc. Se figuran las vetas con *siena natural* (2), molida con agua y desleída también en cerveza.

PINTURA AL FRESCO.

Generalidades.—La *pintura al fresco* sólo se emplea en la decoración, y si se trata de ella en esta obra, es porque, para aplicarla, es necesario poner antes la pared en condiciones especiales.

Se ejecuta la pintura sobre estuco blando ó *fresco* (de donde toma el nombre) con los colores desleídos en agua pura, los cuales, en virtud de las condiciones secantes y absorbentes de la cal que contiene el estuco, se incorporan á él con tanta solidez, que subsisten mientras no desaparece el enlucido.

(1) Se da el nombre de *cerveza* á la infusión fermentada de cebada germinada, conservada y perfumada con *lúpulo* ú *hombrecillo*.

(2) La *siena natural*, que se ha citado ya anteriormente, es un ocre ligeramente bituminoso y transparente, de color amarillo-pardo; los ocres ordinarios son opacos.

El estuco extendido sobre las paredes ú otras superficies, es la sola preparación indispensable; pero como su buena ejecución es la base del trabajo artístico, se procurará no abandonarla á la práctica del albañil, por inteligente que sea en obras de esta naturaleza.

Preparación del estuco.—Se empieza por cribar en un cedazo de cerda la cal más fina de que se pueda disponer, mezclándola con un volumen igual de arena limpia de río, también cernida por el mismo cedazo. La mezcla se echa en una vasija, batiéndola mucho en agua dulce y clara, con la que se deja bien cubierta. Al día siguiente se quita la película de cal que habrá aparecido en la superficie, mudando el agua, si es necesario, y agregando otra igualmente limpia y abundante; después se bate como antes, se deja reposar y se quita la capa superior á las veinticuatro horas, continuando del propio modo por espacio de cuatro á seis meses, al cabo de los cuales estará la masa tan suave y pastosa como la manteca, sin que pueda alterar lo más mínimo los colores que haya de recibir, ni cambiar con las variaciones higrométricas, ni humedecer lo pintado, que á veces es causa del mal resultado de los frescos.

Como los preparativos son largos, se procurará acometerlos con la debida antelación, conservando la masa en vasijas bien acondicionadas. Sin embargo, si la obra fuere urgente, podrían pintarse sobre estuco preparado en pocos días, las partes de menos importancia, aguardando, para las que requieran más esmero, á que la pasta adquiera toda su homogeneidad.

Cuando se vaya á tender el estuco se cuidará de que la pared esté bien preparada, observando las siguientes prescripciones: 1.ª, si estuviese la pared lisa y revocada de antiguo, bastará rasparla con igualdad y bañarla dos ó tres veces para que reciba con perfección el estuco; pero de no ser así, hay que picarla y guarnecerla de nuevo, dejándola áspera y uniforme; 2.ª, no se estucará hasta que la pared esté perfectamente seca; 3.ª, la víspera del día en que haya de aplicarse el estuco, se bañará con agua dulce el trozo correspondiente, repitiendo la operación por la mañana antes de fijar la masa.

Hecho esto, marcará el artista el trozo que pueda pintar en aquel día, trazando las líneas de contorno con unas creces de 2 á 4 centímetros. En seguida extenderá el albañil el estuco con toda limpieza, sin pasar de las líneas señaladas, dejándolo del grueso de un

duro poco más ó menos, bruñéndolo después con la llana para darle más firmeza, y pasando ligeramente una muñeca de trapo mojada, á fin de quitar la capa blanquecina que hará salir el bruñido: con lo cual, y con matar los rastros de la llana para hacer aparecer los poros, sin lo que no se adheriría bien el color, habrá terminado su tarea el albañil. Para que pueda unirse con el estuco dado el que haya de recibir el muro al día siguiente, se procurará rociar el primero de cuando en cuando, particularmente en sus extremos, que el pintor cuidará de recortar oblicuamente al terminar su trabajo. En invierno, especialmente en tiempo de heladas, es fácil que se congele la pasta extendida, y en verano que se reseque pronto: por una y otra razón conviene rociarla con cierta frecuencia; en el primer caso con agua caliente, y en el segundo con agua del tiempo, pues de mantener el estuco siempre fresco depende, no sólo que la pintura pueda penetrar por los poros, sino que se unan perfectamente los contornos de las diferentes tareas con las nuevas capas de enlucido.

PINTURA Á LA ENCÁUSTICA.

Con el nombre de *encáustica* se conocen dos cosas distintas: la *pintura á la cera ó cerífica*, y el *enceramiento*.

Pintura á la cera.—Esta clase de pintura es muy antigua, pues, según Plinio, si bien se atribuía su invención á Arístides, debía ser bastante anterior. El sistema primitivo de encáustica parece que consistía en pintar con ceras coloridas y quemar la pintura; la cera no se desleía en aceite esencial, sino que se hacía maleable por el fuego. Se ponían las ceras á la lumbre en pequeños vasos, y cuando se derretían se les daba los colores. Con la punta más estrecha de una espátula de hierro ó bronce, sacaban los pintores la cera endurecida de los vasos, y la ponían, á modo de toques ó pinceladas, en los sitios que debía ocupar la pintura, con lo que formaban un esbozo ó borrador, cuyas asperezas quitaban aproximando la punta ancha de la espátula calentada. La obra se ultimaba con un escalfador portátil, que disminuía el espesor de los toques y endurecía el trabajo.

Modernamente se emplean para esta clase de pintura diferentes procedimientos, que, salvo ligeras diferencias, consisten todos en moler los colores ordinarios en una preparación llamada *gluten*. Esta substancia semifluida es cera muy blanca, mezclada con aguarrás purificado; resinas elemí y copal, que dan á la cera flexibilidad y tenacidad, y aceite de linaza que, al volatizarse más lentamente que el aguarrás, deja al pintor mayor tiempo para su trabajo.

Esta pintura puede emplearse sobre piedra, yeso, estuco, madera, etc., con tal que las superficies estén secas é impregnadas previamente de una capa de cera y aceite, extendida por medio del fuego. Debe observarse, sin embargo, que la encáustica está muy distante de poseer las cualidades que se le han atribuído de resguardar á las superficies pintadas de la humedad, conservar á los colores el brillo y asegurar el mate ó quitar todo reflejo.

Como ejemplo de encáusticas modernas, pueden citarse las magníficas pinturas murales de la iglesia de San Vicente de Paul, en París.

Enceramiento.—En las artes se da también el nombre de *encáustica* á varias preparaciones, que tienen por base la cera, y cuyo objeto es hacer fácil el extender esta substancia en capas delgadas y uniformes, sobre la superficie de los cuerpos que se quiere *encerar* para ponerlos lustrosos y hacerles inaccesibles al polvo y á la humedad, pues tales son los resultados que se obtienen encerando los muebles, los pavimentos, etc.

El enceramiento, comparado con los barnices, tiene sus ventajas é inconvenientes. Aquel resiste bien á los choques y rozamientos, y puede repararse con facilidad, ya por simples fricciones, ya por una nueva aplicación de cera; el barniz no ofrece la misma resistencia, pues al rozar con un cuerpo duro se raya ó se agrieta, y los desperfectos sólo se pueden corregir haciendo saltar el barniz antiguo y reemplazándolo con otro nuevo. En cambio, el brillo producido por la cera no tiene el realce del barniz, y además aquella se ablanda por la acción de un calor poco elevado, lo que reduce en extremo sus aplicaciones.

El enceramiento se hace á veces con cera natural: así se da lustre á los suelos y escaleras en muchas localidades, como sucede en las provincias Vascongadas. Pero otras veces se usan pomadas ó encáusticas, de las que hay multitud de recetas: una de las más recomendadas se compone de una parte de cera amarilla, que se derrite, y á la que se añaden poco á poco, después de retirar la vasija del fuego, dos partes de aguarrás templado.

BARNICES.

Definición.—Se entiende, en general, por *barnices* materias resinosas ó gomorresinosas, que disueltas ó en suspensión en un líquido adecuado y extendidas en tal estado sobre la superficie de los cuerpos, forman, aun después de la evaporación ó desecación del líquido que sirvió de vehículo, una capa brillante, unida, sólida, transparente, inatacable por el aire y el agua durante más ó menos tiempo, y fuertemente adherida á la superficie del objeto.

Clasificación y propiedades.—En ciertos barnices, los preparados con éter ó alcohol, el disolvente se evapora por completo y las partículas resinosas recobran el color, brillo y solidez de que gozaban en su estado primitivo; en otros, los fabricados con esencias ó aceites grasos, quedan unidas á las resinas, después de la desecación, las materias fijas de los disolventes y, por tanto, las cualidades físicas de éstas modifican las de aquellas. En rigor podrían dividirse los barnices en estos dos grupos tan sólo; pero como la naturaleza del líquido influye notablemente en sus cualidades y aplicaciones, se admitirán cuatro clases: 1.ª, los *barnices de éter*, que son los más secantes por la gran volatilidad del líquido; 2.ª, los *de alcohol*, cuyas propiedades secantes son algo inferiores á las de los que preceden; 3.ª, los *de esencia*, menos secantes aún, no porque el vehículo no se evapore con rapidez, sino porque deja un residuo de materia (10 por 100 próximamente de la esencia empleada), que permanece viscosa mucho tiempo y retarda, por consiguiente, la solidificación de la capa resinosa; y 4.ª, los *grasos*, *hidrófugos* ó *al óleo*, que son los menos secantes, porque el líquido empleado para prepararlos (aceite graso y esencia) se seca con mucha lentitud y deja productos muy abundantes (10 por 100 de la esencia y 12,5 por 100 del aceite empleado).

La rapidez de la solidificación ó desecación no depende exclusiva-

mente de la especie del vehículo: influye también la naturaleza más ó menos seca de la resina ó resinas empleadas, de suerte que en cada grupo de barnices los hay más y menos secantes.

Se comprende inmediatamente que una capa de barniz no aumentará de resistencia á los choques, al roce y á las acciones atmosféricas por estar compuesta de materias muy secas y duras, pero poco trabadas entre sí; una película formada de tales substancias resinosas sería muy poco resistente. La trementina que se añade á los barnices de alcohol, las partes fijas del líquido que quedan mezcladas con las resinas en los de esencia y grasos, tienen por objeto modificar las materias sólidas, reblandeciéndolas y dificultando que recobren sus primitivos caracteres, para conseguir, de este modo, que aumente su resistencia á los agentes destructores antes citados, en virtud de la trabazón que adquieren. Basta lo que precede para que quede sentado que los barnices más secantes son los menos duraderos: en la práctica conviene, como es natural, encerrarse en un justo medio para lograr á la vez que el barniz no se destruya pronto, y que no tarde mucho en secarse para librarle así de las acciones del polvo y de los rozamientos.

Composición.—En la lista siguiente se especifican los cuerpos más usados para la preparación de barnices:

Disolventes.	Cuerpos sólidos.		Materias colorantes.
Aceite de adormideras.	Trementina.	Elemí.	Gutagamba.
Idem de linaza.	Sandáraca.	Succino.	Sangre de drago.
Aguarrás.	Colofonia.	Benjuí.	Áloe.
Esencia de romero.	Copal.	Alcanfor.	Azafrán.
Idem de espliego.	Almáciga.	Caucho.	Cúrcuma.
Alcohol.	Laca.		Extracto de sándalo rojo.
Éter.			Betún de Judea.
Espíritu de leña.			
Acetona.			

Á continuación se estampan las composiciones de varios barnices usados con frecuencia, que se han tomado de la obra de Château titulada *Technologie du Bâtiment:*

BARNICES DE ALCOHOL.

Barniz para maderas, herrajes, verjas, etc.

Sandáraca	15 á 19	decagramos.
Laca en hojas	6	»
Pez vegetal	12 á 13	»
Trementina clara	12 á 13	»
Vidrio molido (1)	12 á 13	»
Alcohol	97 á 98	»

Barniz para desleir los colores blandos y para dar brillo al papel y á todas las superficies blancas.

Sandáraca	15 á 16	decagramos.
Almáciga en lágrimas pulverizada	61	gramos.
Elemí	30	»
Esencia de espliego	30	»

Mézclense estas substancias y añádase:

Alcohol	1	kilogramo.

Este barniz se seca pronto; es sólido y brillante.

Otro barniz blanco que puede reemplazar al anterior.

Almáciga en lágrimas pulverizada	61	gramos.
Sandáraca en polvo	24 á 25	decagramos.
Trementina grasa de Venecia	122	gramos.
Alcohol	1	kilogramo.

Barniz blanco susceptible de pulimento para jambas, dinteles, etc.

Almáciga en lágrimas	12 á 13	decagramos.
Sandáraca	48 á 49	»
Elemí	6	»
Trementina de Venecia	2	litros.

Barniz para objetos expuestos á rozamientos, como sillas, estuches, jambas, metales, etc.

Copal líquido	9	decagramos.
Sandáraca	18 á 19	»
Almáciga pura	9	»
Vidrio molido	12 á 13	»
Trementina clara	7 á 8	»
Alcohol	97 á 98	»

(1) El vidrio molido sirve para dividir las resinas, impedir que se adhieran en el fondo de la vasija y retener las materias extrañas que pudieran estar mezcladas con ellas.

Barniz para objetos de latón.

Háganse cocer en alcohol:

Cúrcuma	24	partes.
Azafrán	5	»

Se filtran, y en esta tintura se hacen cocer al baño de María:

Gutagamba	24	partes.
Elemí	90	»
Sangre de drago	30	»
Alcohol	500	»

Barniz secante para muebles.

Copal blando	90	gramos.
Sandáraca	100	»
Almáciga	90	»
Trementina	75	»
Vidrio molido	100	»
Alcohol	1	kilogramo.

Barniz de apomazar, para muebles.

Sandáraca	250	gramos.
Almáciga	26	»
Sarcocola (1)	25	»
Trementina de Venecia	30	»
Benjuí	8	»
Alcohol	500	»

Barniz para dar al latón el color del oro.

Laca en granos	180	gramos.
Succino fundido	60	»
Gutagamba	6	»
Extracto de sándalo rojo	4	»
Sangre de drago	35	»
Azafrán	2	»
Vidrio molido	»	»
Alcohol	»	»

(1) La *sarcocola* es una gomorresina, que se extrae del *penæa mucronata*, arbusto de Arabia.

BARNICES DE ESENCIA.

Barniz para cuadros.

Almáciga pura	360	gramos.
Trementina	45	»
Alcanfor	15	»
Vidrio molido	150	»
Aguarrás	1.100	»

Barniz de succino para dorados sobre madera.

Colofonia	15	gramos.
Succino	60	»
Elemí	30	»
Aguarrás	375	»

Barniz para hierros.

Colofonia fundida	12	decagramos.
Sandáraca	18	»
Laca	6	»
Aguarrás	12	»

Cuando está todo disuelto se añade:

Alcohol destilado	18	»

Este barniz es un excelente preservativo contra la oxidación.

Barniz negro para palastros.

Colofonia fundida	60	gramos.
Succino	90	»

Después de la fusión y enfriamiento se añaden:

Aguarrás	45	»
Barniz de pintores	45	»

Si el barniz sale demasiado espeso, se deslíe en esencia.

BARNICES GRASOS.

Barniz de pintores.

Sandáraca	120	gramos.
Almáciga	30	»
Trementina de Venecia	6	»
Aceite de linaza cocido ó aceite de adormideras	750	»
Aguarrás	90	»

Barniz para maderas.

Aceite de linaza	75	decagramos.
Succino	50	»
Litargirio en polvo	16	»
Minio en idem	92	»

Este barniz, bien aplicado, resiste á la acción del agua hirviendo.

Barniz de copal.

Copal fundido	600	gramos.
Almáciga	18	»
Olibano (1)	30	»

Las substancias anteriores se deslíen en

Esencia de espliego	23	»

Y después se añade:

Aceite de linaza	1	kilogramo.

Barniz dorado.

Succino	24 á 25	decagramos.
Laca	6	»
Aceite de linaza cocido	24 á 25	»
Esencia de trementina	48 á 49	»

Se da la coloración derritiendo, por separado, en la mezcla anterior, gutagamba, azafrán, sangre de drago y un poco de *achiote* (2). Variando las proporciones de las materias colorantes, se pueden obtener diversos tonos de oro.

Barniz para coches.

Sandáraca	48 á 49	decagramos.
Aceite de linaza cocido	24 á 25	»

Se añade la cantidad de esencia necesaria para aclarar el barniz.

Este barniz conserva los colores de suerte que se pueden lavar sin estropearlos.

(1) El *olibano* es una gomorresina extraída de un árbol parecido al enebro.

(2) El *achiote* es una substancia colorante, obscura exteriormente y roja en el interior, que se extrae de las semillas del *bixcia orellana* y del *metella tinctoria:* es originario de América; se cultiva algo en Cuba y las demás Antillas. El achiote entra en la composición del *bermejo* que usan los doradores.

Barniz para herrajes.

Betún de Judea / Colofonia / Succino	Se funden por separado y se mezclan.

Aceite graso y aguarrás.

Entre las recetas precedentes no figura ninguna de barnices de éter, porque se usan casi exclusivamente en joyería. Los de alcohol son los más empleados en obras interiores. Los de esencia tienen poca aplicación, pues no son más sólidos que los anteriores, despiden olor desagradable y se secan con lentitud; sin embargo, son muy á propósito para cuadros y, según Taffe, reemplazan con ventaja al aceite para el desleimiento de colores en la pintura al óleo. Por último, los barnices grasos se aplican siempre que los objetos han de estar continuamente expuestos á agentes destructores, como sucede, por ejemplo, con las puertas exteriores de edificios, con los carruajes, vagones, etc.

Precauciones que deben observarse al aplicar los barnices.—Ya se emplee el barniz sobre pinturas ó directamente, se deben tener en cuenta las siguientes reglas: 1.ª Se ha de procurar que el objeto esté limpio, resguardado del polvo y á una temperatura suave ó elevada, según se trate de barnices de alcohol ó grasos. 2.ª El barniz debe conservarse en vasijas cerradas y en parajes frescos, sacando sólo la cantidad estrictamente necesaria para el trabajo que se vaya á ejecutar. 3.ª Para dar el barniz se toma una pequeña cantidad con la brocha, y se extiende de tal manera que ésta no pase dos veces por el mismo sitio, ni deje espacios sin barnizar que producirían mancha. Las capas han de ser delgadas y uniformes; el espesor debe ser, cuando más, el de una hoja de papel. Si no basta una mano para obtener buen resultado, se da otra ó las que fueren necesarias, pero esperando que esté bien seca la anterior. 4.ª Si el barniz está demasiado espeso y no se extiende bien, se aclara añadiéndole un poco de alcohol destilado ó de aguarrás, según se trate de barnices de alcohol ó grasos. 5.ª Si el barniz se rechupa ó presenta mal aspecto, hay que levantarlo todo inmediatamente, para lo cual, si está fresco, se frota la superficie con alcohol

ó esencia, según que el vehículo del barniz sea aquel cuerpo ó un aceite graso. 6.ª Cuando el barniz se aplica inmediatamente sobre maderas, las superficies, después de apomazadas, se pulimentan con lija ú otro cuerpo áspero.

DORADO Y BRONCEADO.

Como complemento al estudio de pinturas y barnices, se entrará en algunas explicaciones sobre el *dorado* y el *bronceado*, que se usan con frecuencia en obras de decoración.

DORADO.

Se examinarán sucesivamente los procedimientos de dorado que más se emplean para piezas metálicas y para objetos de madera, yeso, etc. De los primeros se darán á conocer el *dorado á fuego* ó *al mercurio*, el *dorado galvánico* y el *dorado por inmersión;* de los segundos, el *dorado al óleo* ó *al pan* y el *dorado al temple*.

Dorado á fuego.—Se reduce á cubrir las piezas de una amalgama de oro, calentarlas para que se volatilice el mercurio, y así queda en la superficie de aquellas una delgada capa de oro íntimamente adherida. Este sistema se adopta sobre todo para dorar el bronce, pero pudiera también aplicarse al latón y al cobre; el hierro y el acero exigen que se les cubra de antemano de una capa de cobre, sumergiéndolos en una disolución de caparrosa azul.

Antes de dorar las piezas hay que limpiarlas calentándolas al rojo é introduciéndolas en agua acidulada con ácido sulfúrico, y á veces en ácido nítrico concentrado, para producir una desoxidación más completa que se llama *reanimación*. Se amalgama la superficie con la *escobilla de alambre* ó *grata*, pequeña brocha de hilos de latón, que se sumerge en una disolución de nitrato ácido de mercurio, y se oprime en seguida sobre la amalgama de oro para conseguir que se adhiera una parte de ésta. Se frotan las piezas con la escobilla, se calientan en una chimenea de buen tiro para que desaparezcan los

vapores mercuriales, que son muy nocivos para los trabajadores; se repiten todas las operaciones las veces que sea preciso para que las piezas queden bien cubiertas de oro; después se limpian con vinagre muy diluído, y las partes que hayan de tener brillo se pulimentan con bruñidores de *piedra sanguinaria* (ocre rojo ferruginoso).

Dorado galvánico.—El dorado galvánico se va extendiendo más cada día, por los peligros que ocasiona el empleo del mercurio en el dorado á fuego. Conocida por el curso de Física la teoría del procedimiento, bastará decir que el baño que parece que produce mejores resultados se compone de 100 partes de agua destilada, 10 de cianuro de potasio y 1 de cianuro de oro. Se eleva la temperatura del baño á 70°, y se somete el objeto que se quiera dorar á la corriente eléctrica producida por un par voltáico de corriente constante, colgándolo del polo positivo de la pila, mientras que al negativo se une una laminilla de oro. Ésta se va disolviendo á medida que la acción eléctrica deposita en el objeto el oro contenido en el líquido; el baño se conserva así durante todo el trabajo en el mismo estado de concentración.

El procedimiento anterior, descubierto por La Rive en 1840 y perfeccionado después por Ruolz, se aplica directamente á dorar la plata, el bronce, el latón y algunos otros metales; pero para el hierro, el acero, el zinc, el estaño y el plomo, es preferible empezar por cubrirlos de una capa de cobre para que la de oro tengo más solidez.

Nada se dirá acerca de la preparación de las piezas antes de introducirlas en el baño, ni de las operaciones que han de sufrir luego, para no dar demasiada extensión á estas ligeras ideas.

La galvanoplastia se aplica también á depositar una capa de cobre en piezas de hierro colado de gran tamaño; en Madrid pueden presentarse, como ejemplo, las farolas colocadas en algunas plazas. En estos objetos se imita la pátina, pintando la superficie cobriza con una disolución compuesta de vinagre incoloro, sal amoniaco, sal común y agua amoniacal.

Dorado de metales por inmersión ó al temple.—No se usa más que en joyería y relojería, así es que sólo se indicará que consiste el procedimiento en sumergir los objetos perfectamente limpios en una disolución hirviendo de cloruro de oro en carbonato alcalino. El método usado por los relojeros de introducir las piezas en

una disolución de oro en agua regia, ofrece el inconveniente de que el líquido ácido ataca al metal que se va á dorar.

Dorado al óleo.—El dorado al óleo se aplica principalmente á las maderas, al yeso y á las piedras, pero también se usa para algunas piezas metálicas. Se reseñará la marcha que se sigue para dorar cúpulas, techos, estatuas, verjas, balcones, etc., prescindiendo del dorado de carruajes, muebles, marcos y otros objetos de menor importancia en ingeniería.

Se da una mano de imprimación de albayalde molido en aceite litargiriado y desleído en aceite de linaza mezclado con algo de aceite graso y aguarrás. Se aplica en seguida una capa de *color de oro* (1) y aceite, destinada á servir de cuerpo intermedio para la fijación del oro, y cuando aquella está bastante seca se procede al dorado. Se emplean al efecto las laminillas de extrema tenuidad que se venden en el comercio en librillos de unas 24 hojas y que se llaman *pan de oro:* conviene cerciorarse de la pureza del metal que, si no está falsificado, no lo atacarán los ácidos nítrico y sulfúrico. Las hojuelas se cortan en pedazos, y con ayuda de algodón muy suave se oprimen contra la superficie del objeto, haciéndolas llegar al fondo de las partes entrantes con un pincel de pelo fino. Las grietas ó desigualdades que presenta la superficie dorada se repasan, siguiendo el mismo método. En el caso de que las piezas no hayan de quedar expuestas al aire libre se cubren con un barniz de alcohol, paseando á la vez por la superficie un escalfador que le da transparencia; se termina la operación extendiendo una mano de barniz al óleo.

En el dorado de mármoles se sustituye la imprimación por una capa de barniz graso.

Dorado al temple de maderas y yesos.—Muchas piezas del interior de edificios, y sobre todo maderas y yesos, se suelen dorar al temple, es decir, reemplazando el aceite usado en la clase de dorado que se acaba de reseñar, con cola de pergamino. El trabajo exige una porción de operaciones minuciosas, que no se detallarán,

(1) El *color de oro* es el residuo de los colores molidos y desleídos en aceite, que se encuentra en los vasos en que los pintores limpian sus pinceles. Esta materia viscosa y grasa se muele de nuevo y se cuela á través de un lienzo.

pero que pueden verse en la *Technologie du Bâtiment* del Sr. Château y en el *Diccionario de Arquitectura é Ingeniería* de D. Pelayo Clairac, Ingeniero Jefe del Cuerpo.

BRONCEADO.

Es frecuente en las construcciones dar aspecto de bronce á hierros y maderas, en obras interiores. Se consigue fácilmente pintando las piezas con una mezcla de ocre amarillo, azul de Prusia y negro de humo desleídos en agua de cola, y retocando luego las partes salientes con *bronce de pintores* (1) para imitar los efectos producidos por el roce en los bronces antiguos.

El bronceado de objetos de arte es bastante complicado y no ofrece gran interés para el Ingeniero de Caminos.

(1) El *bronce de pintores* ó *polvo de bronce*, es casi siempre el cuerpo que se conoce en Química con el nombre de *oro musivo*, es decir, el sulfuro estánico, SnS^2. Se presenta en forma de hojuelas micáceas, de un color amarillo intermedio entre el del latón y el bronce.

PAPELES Y CARTONES.

PAPELES PINTADOS.

Parece que los *papeles pintados* se emplearon por primera vez en Europa para decorar muros interiores en el siglo XVI; los holandeses fueron los introductores de este material, que se usaba desde época remota en China y el Japón.

Fabricación.—Cualquier papel, con tal que tenga cola, ès á propósito para recibir por impresión los colores. Antiguamente era preciso cortar las hojas y encolarlas para formar los rollos; pero en la actualidad, gracias á los perfeccionamientos introducidos en la fabricación del papel continuo, la preparación del que se usa para vestir paredes se reduce á someterlo á las cuatro operaciones siguientes: *pintura del fondo, desecación, alisadura é impresión.*

Pintura del fondo.—Se deslíen en una disolución de cola de Flandes un color blanco, que ordinariamente es creta, cal ó yeso, y el que deba tener el fondo; la pintura así dispuesta, se extiende sobre el papel con brochones. Á veces se divide esta operación en dos; se empieza por dar una mano de cola tibia, y cuando está seca se añade la de color, como se acaba de explicar.

Desecación.—El rollo se seca extendiéndolo sobre rodillos ó varillas de madera, en un tendedero especial que hay en todas las fábricas.

Alisadura.—Cuando la pieza se ha secado, se alisa ó glasea con un pequeño rodillo de cobre ó con una regla de madera. El papel se coloca encima de la mesa al revés, es decir, con la cara pintada hacia abajo, siempre que el fondo haya de quedar mate. En caso contrario, es decir, si el fondo ha de tener brillo, se satina con una brocha áspera de cerdas de jabalí; la pieza se coloca entonces con el color

hacia arriba; se espolvorea con talco molido, y después se le hace sufrir una frotación enérgica con la brocha hasta que aparezca el brillo.

La base del color del fondo conviene que sea creta cuando aquel deba ser mate, y yeso muy fino si se ha de satinar.

Impresión.—Para imprimir los rollos de papel, se emplean tablas de peral, en que se graban los dibujos que se desee reproducir; estas tablas son parecidas á las que sirven para imprimir las telas en general, y los percales en particular; cada una lleva en la cara no grabada una asa fuerte, también de madera. Como en todos los grabados, se colocan en los ángulos de la tabla unas puntas, que determinan líneas de fe, y que se llaman *punturas*. Al lado de la prensa, se dispone una cuba de piedra llena de agua, sobre la cual se mantiene tensa y siempre humedecida, una piel cubierta de fieltro por la parte exterior. Un muchacho echa sobre el fieltro con una brocha el color que se vaya á emplear, y lo extiende uniformemente con una muñeca. El impresor cubre la tabla de color, apoyándola sobre el fieltro, y la aplica á las piezas de papel, ejerciendo repetidas veces y en diversos puntos una fuerte presión, por medio de una larga palanca de madera dispuesta del otro lado del banco en que se apoya el rollo. En seguida levanta con precaución la tabla, la cubre otra vez de color y la aplica sobre la hoja, cuidando de que las punturas de los ángulos del costado inferior, coincidan exactamente con los agujeros que en la aplicación anterior dejaron en el papel las punturas del lado opuesto. Á medida que la pieza se estampa, se la hace correr, apoyándola en un caballete que se va retirando de suerte que el papel no toque nunca al suelo. La mesa en que se verifica la impresión tiene un mullido para que la operación se efectúe mejor y no se estropee la tabla.

Aun cuando en las fábricas importantes hay máquinas para imprimir varios colores á la vez, lo más general es emplear tantas tablas como colores y tonos diferentes haya. Cuando se ha estampado el primer color en todo el rollo, se lleva éste al tendedero y se aguarda á que esté bien seco para aplicar el segundo. Por lo común, la primera tabla lleva el tono medio del color que se repite más; la segunda, el tono obscuro, que da sombra al primero: si hay más colores, se da cada uno con una ó dos tablas, según el número de tonos;

por último, cuando el papel ha recibido todos los colores, se aplican las luces con una tabla que lleva los blancos.

Papel apañado ó aterciopelado.—Á los papeles de lujo se les da el aspecto de paños ó terciopelos, cubriéndolos total ó parcialmente con la borra ó pelusa que sale de los paños cuando se tunden y que se llama *tundizno*. Hoy se usan tundiznos blancos desengrasados, que se tiñen del color y tono que convenga por los procedimientos ordinarios de tintorería. Después de impresa la pieza, se extiende con una tabla especial un mordiente, llamado impropiamente *encáustica*, compuesto de albayalde y aceite de linaza litargiriado, á que se suele añadir aguarrás. Aplicado el mordiente, se coloca el papel de plano en una caja ó tambor largo provisto de tapa y cuyo fondo está formado por una piel muy tensa de ternera: se espolvorea la pieza con la pelusa de lana, se cierra la caja y en seguida se golpea el fondo con varillas largas. El tundizno se levanta y vuelve á caer encima del papel, adhiriéndose con fuerza á los puntos en que se aplicó el mordiente. Se saca la pieza, se sacude para que caiga la pelusa no adherida y se lleva al tendedero; una vez seca, se dan las sombras y luces con colores al temple de tono apropiado, que se estampan con tablas especiales.

Dimensiones de las piezas de papel.—Los rollos de papel pintado suelen ser de $8^{m},75$ de longitud y $0^{m},47$ de ancho, ó bien de $10^{m},40$ de largo y $0^{m},54$ de anchura; pero se comprende que estas dimensiones no deben considerarse como invariables, y, en efecto, es común que se diferencien algo las correspondientes á piezas que proceden de fábricas distintas.

Las cenefas y zócalos se venden también por piezas de longitudes diversas y cuyas anchuras varían entre límites aún más distantes.

CARTONES.

Cartón ordinario.—El *cartón ordinario* es una materia consistente, de mucho más espesor que el papel común, preparada con los trapos inútiles para éste, con desechos de cuerdas, alpargatas, papel viejo, etc., cocido todo y extendido luego en máquinas á propósito, que dan á la materia el grueso que se apetece.

Cartón moldeado.—El moldeo del cartón puede hacerse con hojas encoladas ó con cartón ordinario.

Cuando se sigue el primer medio, se empieza por encolar en el molde hueco una hoja de papel muy delgado y transparente, de suerte que siga con exactitud el contorno; para aplicar el papel se usa una brocha pequeña y una muñeca de lienzo fino. Á la primera hoja se encola la segunda, á ésta la tercera y las demás que sean necesarias (todas ellas de papel de estraza), según la resistencia que se quiera dar al cartón ó la naturaleza de los objetos que hayan de moldearse. Una vez seco y frío el cartón, se saca del molde, invirtiéndolo y golpeando encima. Si la pieza tiene superficies redondeadas, se moldea en varios trozos, que se cosen con alambre de hierro ó de latón. Con hojas de papel superpuestas se construyen objetos de formas muy complicadas para la decoración interior de edificios.

El cartón ordinario se emplea también para moldear. Á este efecto, á la pasta de cartón se añade un poco de cola de harina para darle consistencia; se deja secar y se comprime hasta que quede tan fina que pueda adaptarse á las impresiones más delicadas. Cuando se va á emplear esta substancia pulverulenta, se amasa con un poco de agua y se extiende la pasta con los dedos en el fondo del molde, dándole un espesor de unos 2 milímetros, con la mayor uniformidad posible. Se pasa en seguida con cuidado una esponja fina para absorber el agua de la pasta, y al cartón bien oreado se le da una mano de cola. No sólo se hacen de cartón estatuas y bajos relieves de todos tamaños, sino jarrones, candelabros, cornisas, florones para techos, etc.; estos adornos, sobre todo si están en parajes secos, duran más que los de yeso, ofreciendo además la ventaja de que si se estropean se pueden reparar á poca costa.

Los cartones moldeados cubiertos con barnices á propósito, se parecen á las *lacas chinas* y suelen llamarse *lacas francesas;* se aplican con buen éxito á toda clase de piezas, por complicado que sea su contorno.

Cartón piedra.—El *cartón piedra* es una mezcla moldeada, que imita á la piedra, y que por su poco peso y reducido coste, se prefiere á ella para la decoración arquitectónica. Se compone de pasta de papel, cola, arcilla y creta, á cuyos ingredientes se añade á veces aceite de linaza. Estas composiciones, vaciadas en moldes de bronce

engrasados, sirven para preparar objetos de adorno ligeros y resistentes. Las recetas que siguen se han tomado de la obra de Château, citada ya en renglones anteriores.

Núm. 1.

Pasta de papel y recortes de libros..........	1	parte.
Cola....................................	1/2	»
Creta....................................	1	»
Tierra bolar (1)...........................	2	»
Aceite de linaza crudo....................	1	»

Esta receta da un cartón delgado, duro y muy liso.

Núm. 2.

Pasta de papel..........................	1 1/2	partes.
Cola....................................	1	»
Tierra bolar blanca.......................	1	»

El cartón es de muy buen aspecto, duro y liso.

Núm. 3.

Pasta de papel..........................	1 1/2	partes,
Cola....................................	2	»
Tierra bolar blanca.......................	2	»
Creta....................................	2	»

Cartón liso y tan duro como el marfil.

Núm. 4.

Pasta de papel..........................	1	parte.
Cola....................................	1	»
Tierra bolar blanca.......................	3	»
Aceite de linaza..........................	1	»

Cartón elástico y de muy buen aspecto.

Núm. 5.

Pasta de papel..........................	1	parte.
Cola....................................	1/2	»
Tierra bolar..............................	3	»
Creta....................................	1	»
Aceite de linaza..........................	1/2	»

Esta receta da un cartón superior al del núm. 1; añadiendo unos cuantos gramos de azul de Prusia, imita perfectamente al bronce.

(1) La *tierra bolar* es una arcilla deleznable y de textura muy fina.

Para preparar el cartón piedra, se aglutina en un mortero la pasta de papel con la disolución de gelatina, y después se añaden las substancias térreas; se baten bien todos los ingredientes y se vierte encima el aceite de linaza, si entra este cuerpo en la composición.

Cuando se emplea el cartón piedra para hacer columnas, pilastras, frontones, cornisamentos y otros adornos, que hayan de estar expuestos al aire, después de haberlos colocado y prendido con clavos galvanizados, se llenan todos los intersticios y se cubren las juntas con un betún fluido, compuesto de albayalde y creta, perfectamente desleídos en aceite de linaza secante.

El cartón piedra data por lo menos del siglo xv, se abandonó en el xvii, algo se empleó en el xviii, y en el actual ha vuelto á ponerse de moda, prestando inapreciables servicios en la decoración de edificios.

Cartón cuero.—Se ha empezado á usar en 1822. Se prepara con residuos molidos de pieles, que se mezclan con pasta de papel muy espesa, y se aglutinan con cola ó un mucílago cualquiera. La pasta se moldea como el cartón piedra.

El *cartón cuero* se usa en especial para hacer arabescos, rosetones, capiteles, modillones, bajos relieves y todos los adornos que hayan de dorarse, pero se emplea asimismo para cubrir algunas construcciones.

Cartón embetunado.—El *cartón embetunado*, que también se llama *embreado*, *alquitranado* y *asfaltado*, se reduce á hojas de cartón grueso impregnado de alquitrán, que se usan bastante para cubiertas de edificios por permitir proyectar armaduras muy ligeras y dar poca inclinación á los faldones. Con este material se han cubierto los edificios de estaciones de los ferrocarriles del Rhin y muchas contrucciones en Bélgica.

El cartón embetunado se prepara mojando en agua, por algunas horas, el cartón ordinario, colocándolo después en una tabla inclinada para que escurra el exceso de líquido: al día siguiente se da al cartón una mano de alquitrán hirviendo, que penetra fácilmente en los poros abiertos por la humedad.

En Inglaterra se emplean mucho para cubiertas los *fieltros de lana embetunados*, que se diferencian de los productos anteriores en que el cartón se reemplaza con fieltro y en que no reciben la capa de

alquitrán hasta que están clavados en la armadura. Los fieltros se venden en piezas ó rollos de 0m,80 de ancho y 25 metros de largo.

Telas encartonadas y embetunadas.—Estas telas, preparadas por los Sres. Chameroy y Compañía, se aplican con muy buen éxito á cubiertas y revestimiento de superficies que convenga preservar de la humedad. Son resistentes y de fácil colocación; por lo general, tienen 25 metros de longitud y 1 metro de anchura.

SEGUNDA PARTE.

ANÁLISIS QUÍMICA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

MANIPULACIONES.

Definiciones.—La *Química analítica* es aquella parte de la Química que se ocupa en determinar la composición de los cuerpos. Cuando la análisis tiene por objeto conocer la naturaleza de los elementos, recibe el nombre de *cualitativa*, llamándose *cuantitativa* cuando se trata de deducir la proporción en que cada elemento entra en la composición del cuerpo considerado, ó lo que es lo mismo, de *dosificar* las substancias constitutivas.

No se tratará aquí el problema de la análisis química en toda su generalidad; su complicada resolución no interesa al Ingeniero de Caminos, que, por lo general, no dispone de un laboratorio, y no puede emprender, en la práctica de su profesión, operaciones analíticas que requieran gran delicadeza y exactitud. En semejantes casos, siempre tiene que recurrir á establecimientos ó personas, que por su especialidad puedan suministrarle datos y noticias precisas que le guíen en sus investigaciones. No se hará más, por consiguiente, que sentar los principios generales indispensables para poder ensayar con alguna aproximación, los materiales comunmente empleados en la ejecución de las obras públicas.

Aun cuando en la mayoría de los casos la análisis cualitativa de-

be preceder á la cuantitativa, hay varios, en que al mismo tiempo que la naturaleza de los elementos, se determinan sus proporciones. Sin embargo, para establecer algún orden, se estudiarán por separado las dos análisis, comenzando por la cualitativa.

Reactivos.—En general, se deducen los elementos que entran en un cuerpo, por la observación de las reacciones que se verifican poniéndolo en contacto, en determinadas circunstancias, con otros de composición conocida, que se llaman *reactivos*. Si éstos se emplean en disoluciones, se dice que la análisis se hace *por via húmeda;* cuando, al contrario, se usan en estado sólido y se ponen en contacto á una alta temperatura con el cuerpo dado, el ensayo se lleva á cabo *por via seca*.

Casi todos los reactivos se encuentran en el comercio, pero antes de usarlos se tienen que someter á una purificación más ó menos delicada, según el objeto á que se destinen. Á continuación se expresan los reactivos más importantes para las análisis, prescindiendo de los que reclaman los ensayos con el soplete, que se estudian en el curso de Mineralogía y se suponen conocidos en todo lo que sigue:

Agua.
Alcohol.
Ácido clorhídrico.
Ácido nítrico.
Ácido sulfúrico.
Acido sulfhídrico.
Ácido fluorhídrico.
Ácido oxálico.
Agua regia.
Amoniaco.
Potasa cáustica.
Carbonato amónico.
Nitrato amónico.
Fosfato amónico.
Sulfuro amónico.
Oxalato amónico.
Carbonato potásico.
Clorato potásico.
Ferrocianuro potásico.
Ferricianuro potásico.
Sulfocianato potásico.
Carbonato sódico.
Fosfato sódico.
Carbonato bárico.
Cloruro bárico.
Carbonato cálcico.
Fluoruro cálcico.
Nitrato argéntico.
Cloruro argéntico.
Cloruro cúprico.
Cromato plúmbico.
Cloruro platínico.

Respecto á la composición, propiedades, preparación y purificación de estos diversos cuerpos, nada hay que añadir á lo que se expone en los tratados de Química general.

OPERACIONES FRECUENTES EN LAS ANÁLISIS.

Antes de entrar de lleno en la explicación de los procedimientos analíticos, forzoso es que se den á conocer ó se recuerden varias operaciones, que continuamente reclaman los ensayos. Para mayor claridad, se dividirán en *mecánicas, físicas* y *químicas*. Entre las primeras se estudiarán la *división mecánica de los cuerpos*, la *decantación* y la *filtración;* entre las segundas, la *disolución*, la *evaporación*, la *fusión*, la *ebullición*, la *cristalización*, la *destilación* y la *sublimación*, y entre las últimas, la *desagregación*, la *precipitación*, la *calcinación*, la *oxidación* y la *reducción*.

OPERACIONES MECÁNICAS.

División mecánica.—Esta operación, necesaria en la mayor parte de los casos, tiene por objeto facilitar las reacciones en las análisis por via húmeda, aumentando la superficie de contacto del cuerpo con el disolvente, y disminuyendo la fuerza de cohesión de aquel.

Para reducir una substancia á polvo, se empieza generalmente por machacarla en un mortero de hierro fundido ó bronce, con objeto de dividirla en fragmentos más pequeños. Algunas veces conviene fracturarla con un mazo sobre una placa de acero, envolviéndola en un papel ó en una hoja delgada de palastro, á fin de no perder ningún trozo. Si el cuerpo no tiene gran dureza, se acaba de pulverizar en un morterito de vidrio, porcelana, acero ó ágata, según las circunstancias.

Cuando la substancia es muy dura para poder triturarla por el método ordinario, y se posee corta cantidad de ella, se emplea el mortero llamado *de Abich* (fig. 294), que consiste en un cilindro hueco *DE*, de unos 25 milímetros de diámetro interior, y $0^m,02$ de altura; el cual recibe un émbolo macizo *F*. El cilindro hueco encaja en una pieza circular *AB*, que presenta un rebajo cilíndrico de 4 ó 5

milímetros de profundidad, sobre el que se aplica exactamente la parte inferior del émbolo. Todo el aparato debe ser de acero templado. Para usarlo se coloca el cuerpo en el rebajo y se golpea con un martillo la cabeza del émbolo, *G*. La pulverización se termina en un mortero de ágata.

Cuando los métodos anteriores no dividen bastante la materia, ó cuando se exige mucha igualdad en el tamaño de las partículas, se necesita proceder á la *levigación*, que consiste en desleir en agua la substancia pulverulenta, dejarla en reposo cierto tiempo y decantar el líquido con el mayor cuidado, como luego se explicará: el agua conservará evidentemente en suspensión las partículas más tenues, que se recogen, bien por decantación, después de reposar el líquido algunas horas, bien por medio del filtro. El depósito que queda se puede aprovechar, pulverizándolo de nuevo y repitiendo las operaciones.

Los métodos indicados para la división de las substancias muy duras, tienen que aplicarse casi siempre á las análisis de los materiales en que dominan los silicatos.

Decantación.—La *decantación*, lo mismo que la filtración, tiene por objeto separar un cuerpo sólido de un líquido. Aquella sólo presenta ventajas cuando el sólido es bastante denso para que se deposite con rapidez.

Una vez verificada la precipitación, se decanta el líquido vertiéndolo con mucha precaución, y cuidando de que no llegue á arrastrar ninguna partícula del depósito formado. Si es posible, conviene que la vasija tenga una posición inclinada, á fin de separar el líquido con mayor facilidad. Se puede evitar todo movimiento de la vasija, extrayendo el líquido, con una pipeta ordinaria ó de dos ramas; este último medio se emplea, sobre todo, cuando es conveniente resguardar el precipitado del contacto del aire. En ese caso se usa un frasco (figura 295) cerrado por un corcho que tiene dos taladros, uno de los cuales da paso á la pipeta *a* y el otro á un tubo recto *b*: soplando por la abertura superior de éste, se produce la salida del líquido. El extremo inferior del tubo *a*, está encorvado, como se ve en la figura, con objeto de poder prolongar la extracción sin que se escapen partículas del depósito.

Filtración.—Siempre que no puede aislarse un sólido de un líquido, por decantación, hay que recurrir á la *filtración*, que está

fundada en la propiedad que tiene el papel sin cola de ser permeable á casi todos los líquidos é impermeable á los sólidos por tenues que sean.

El papel para filtros debe satisfacer á cuatro condiciones: 1.ª, ser bastante fino para retener los precipitados, aunque estén muy divididos; 2.ª, dejar escurrir fácilmente los líquidos; 3.ª, contener la menor cantidad posible de substancias solubles en los ácidos ó álcalis; y 4.ª, producir poca ceniza al quemarse. Tan sólo el papel que se fabrica en Suecia, con arreglo á las prescripciones de Berzelius, reune todas estas cualidades; el que se expende en el comercio está muy lejos de poseerlas, y casi siempre que se trata de operaciones delicadas, es preciso empezar por prepararlo, á cuyo efecto se lava primero con ácido clorhídrico diluído en tres ó cuatro partes de agua, y después, repetidas veces, con agua pura, dejando que se seque antes de usarlo.

Los filtros pueden afectar dos formas, la cónica y la piramidal con ángulos alternativamente entrantes y salientes. La última se emplea con preferencia cuando la filtración deba hacerse con rapidez y no haya que aprovechar el precipitado; no se hablará, sin embargo, de la manera de hacer los filtros en tal caso, porque en la mayor parte de las análisis se usan los cónicos. La preparación de éstos no ofrece ninguna dificultad: se corta un cuadrado de papel y se dobla dos veces paralelamente á sus lados, de manera que se forme un cuadrado cuatro veces más pequeño; conservando doblado el papel, se hace centro en uno de los vértices, y con un radio igual al lado del cuadrado menor, se traza un arco de 90°; se recorta por la línea así señalada, y levantando una de las cuatro hojas superpuestas, se obtiene un filtro de forma de cono recto de base circular. Para recortar con facilidad y exactitud el papel por el arco que se ha indicado, puede usarse el cortafiltros de Mohr, que consiste en un cuadrante de círculo de cartón, zinc ó palastro, cuyos radios extremos tienen rebordes para sujetar el papel. Se coloca éste bien doblado sobre el patrón y se recorta siguiendo su contorno. Como se necesitan filtros de varias dimensiones, claro es que habrá que proveerse de patrones de distintos tamaños.

Los filtros de papel se colocan en embudos de vidrio, teniendo cuidado de que en toda su superficie se apliquen con exactitud al va-

so. El embudo debe sobresalir, por lo menos, de 4 á 6 milímetros respecto al filtro, y se ha de cuidar también de no echar el líquido por los bordes, sino de manera que escurra por las puntas. Los embudos se colocan en las bocas de las vasijas en que se quiere recoger el líquido, ó en sustentáculos de formas en extremo variadas. La figura 296, indica una disposición muy cómoda, que se adopta con frecuencia.

Siempre que se filtra sobre una vasija, cuya boca no tenga suficiente estrechamiento, como la de dicha figura, hay que colocar el embudo de modo que su punta esté en contacto con la superficie del vaso, á fin de evitar que la caída de las gotas produzca pérdidas apreciables de líquido.

En las filtraciones hay que tomar siempre además la precaución de hacer correr el filete líquido á lo largo de una varilla de vidrio, que se sujeta con la mano izquierda, dirigiéndola hacia el punto del filtro que sea conveniente.

Cuando por cualquiera circunstancia no pueda emplearse el papel para la preparación de filtros, como sucede, por ejemplo, cuando es atacado por los líquidos con que se opera, ó cuando las substancias sólidas recogidas se descomponen á la temperatura necesaria para la calcinación del papel, suele reducirse el filtro á algodón en rama, que se coloca en el embudo ó en un tubo terminado en punta. Los precipitados se recogen quemando el algodón ó disolviéndolo en éter.

Se ha dicho anteriormente que el papel para filtros debe producir pocas cenizas al quemarse; el papel sueco da tan sólo algunas milésimas de su peso; hay algunos en el comercio que producen hasta el 7 por 100, y es muy común que den el 5. Sea como quiera, es indispensable en las investigaciones cuantitativas delicadas, conocer el peso exacto de las cenizas; esta determinación se hace con la mayor facilidad, pues basta quemar cierto número de filtros de iguales dimensiones, 10 por ejemplo; recoger con cuidado las cenizas calcinadas, y pesarlas. Claro es que la décima parte del peso obtenido será el residuo medio correspondiente á cada filtro, y por consiguiente, la cantidad que habrá que deducir del peso que se halle para la mezcla del precipitado y las cenizas.

OPERACIONES FÍSICAS.

Disolución.—Entre las operaciones físicas debe considerarse la *disolución*, basada en la propiedad que tienen los cuerpos sólidos de unirse á ciertos líquidos, variables con la naturaleza de aquellos, formando todos homogéneos. Cuando al efectuarse la disolución no se produce ninguna reacción, toma aquella el nombre de *simple*, recibiendo el de *química* en el caso contrario. Las disoluciones constituyen, por decirlo así, el fundamento de los estudios cualitativos por la vía húmeda.

El disolvente usado en la mayoría de los casos, es el agua pura ó mezclada con ácidos ó álcalis. También se usan como disolventes otros cuerpos: el éter, el alcohol, el sulfuro de carbono ó ácido sulfocarbónico, el agua regia, etc.

El calor favorece la disolución, tanto por las corrientes que determina en el líquido, cuanto porque la experiencia ha demostrado que casi todos los cuerpos sólidos son más solubles á las altas que á las bajas temperaturas. Hay algunas substancias para las que esta regla no se verifica; ejemplo ofrece el sulfato cálcico, que se disuelve más fácilmente en el agua fría que en la caliente. El estado de división de los cuerpos influye asimismo en la rapidez de la disolución; se comprende que cuanto más divididos se hallen, es decir, cuanto menor sea la cohesión y mayor la superficie en contacto con el líquido, mayor será el poder disolvente que éste ejerza sobre aquellos. Igual resultado se produce con la frecuente agitación del sólido.

Se dice que una disolución está saturada á una temperatura determinada, cuando á la misma el líquido no puede disolver mayor cantidad del cuerpo que se considera. Violette ha ideado un aparato muy ingenioso, de forma semejante á la de un areómetro, destinado á conocer si una disolución está saturada.

Evaporación.—La evaporación tiene por objeto aislar las substancias sólidas contenidas en una disolución ó concentrar una disolución diluída.

Las evaporaciones se hacen, por lo general, en cápsulas de porcelana, plata ó platino: las primeras resisten bien al fuego y son muy

cómodas, aunque no pueden emplearse para la evaporación de líquidos que contengan algún álcali cáustico ó que desprendan ácido fluorhídrico. Las cápsulas de plata no resisten tanto al fuego, pero no las atacan los álcalis cáusticos; en cambio, no pueden usarse cuando el líquido contiene ácidos libres. Las cápsulas de platino se emplean con mucha frecuencia, mas debe tenerse presente que son atacadas por la potasa, la sosa y los carbones candentes, y disueltas por el agua regia, y en general por las mezclas, que puedan ejercer acciones clorurantes ó bromurantes enérgicas. También debe evitarse calentar en ellas al rojo, los fosfatos, sulfatos y arseniatos metálicos, que en presencia del platino y por la acción de los productos carburados de la combustión, originan fosfuros, sulfuros y arseniuros de platino, substancias todas muy fusibles.

Las cápsulas, láminas, hilos y crisoles de platino, tienen que limpiarse con el mayor cuidado después de usarlos. Á este efecto se introducen en una vasija que contenga agua hirviendo, pura ó mezclada con ácido clorhídrico, para disolver las materias que hayan quedado adheridas á dichos objetos; se sacan éstos y se acaban de limpiar con un trapo fino de hilo, mojado y espolvoreado con arenilla muy fina. Si se observa que han sufrido abolladuras, se quitan con tacos y un macito de madera blanda.

La mayor parte de las evaporaciones se hacen con el auxilio del calor; sin embargo, algunas, como las que tienen por objeto concentrar una disolución, se verifican espontáneamente. Las vasijas empleadas entonces pueden ser las partes inferiores de los globos ó retortas de vidrio, que se cortan con un carbón candente.

Cuando se activa la evaporación con el fuego, hay que procurar que el aire se renueve con libertad en la superficie del líquido, á cuyo fin se practican generalmente estas operaciones debajo de la campana de la chimenea del laboratorio, teniendo cuidado de cubrir la cápsula, para que no caigan materias extrañas sobre el líquido, con una hoja de papel de filtros, colocada á altura conveniente.

Si se calienta el líquido, como se hace por lo común, de abajo á arriba, las burbujas de vapor, que se forman en el fondo, producen movimientos bruscos en la masa y determinan el salto violento de partículas del líquido, que arrastran cantidades mayores ó menores de las substancias disueltas; estos efectos son aún más sensibles al

aumentar la concentración del líquido. Para remediar tales inconvenientes, se hace que la cápsula no se caliente más que por su parte lateral, colocándola en el horno sobre un tronco de cono de palastro, rodeado de carbones encendidos. También suele adoptarse el método indicado por Berzelius, cuando el calor empleado es el proveniente de una lámpara de aceite ó alcohol; consiste en hacer la evaporación en un crisol que se pone inclinado y no en la vertical de la llama.

La colocación directa de la vasija sobre el fuego produce siempre malos resultados, y por esta razón, cuando no se recurra al *baño de arena* ó al *de María*, conviene interponer entre la cápsula y el fuego una capa de ceniza y usar un combustible que se consuma con lentitud. El carbón de turba es muy á propósito.

Baños de arena.—La evaporación por medio del baño de arena, se reduce á poner las vasijas sobre arena caliente.

Los baños de esta especie tienen formas muy distintas, pero para dar á conocer una de las disposiciones más ventajosas, se describirá la adoptada en el laboratorio de la Escuela de Puentes y calzadas de Francia (fig. 297). Consiste en una vasija de hierro fundido ó palastro, llena de arena, que se coloca sobre el hogar de un horno de ladrillo, alimentado con leña, hulla ú otros combustibles. Á fin de evitar que las substancias extrañas ensucien los cuerpos sometidos á los experimentos, y para obtener, en lo posible, una temperatura constante, el baño de arena está rodeado por un bastidor corredizo de cristales y cubierto con una tolva, que comunica con la chimenea. El aire se introduce sobre el baño por una abertura practicada en la parte inferior del bastidor. De este modo se consigue una rápida evaporación, puesto que los vapores se escapan en cuanto se forman, merced al tiro que establece la tolva, y que el aire se renueva sin interrupción en la superficie del líquido.

Se suelen hacer de hierro colado los hornos para baños de arena, pero es preferible que sean de ladrillo con revestimiento refractario.

Para gran número de operaciones, el baño de arena puede reducirse á un pequeño depósito de palastro ó hierro fundido, lleno de arena, que se ajusta en la abertura superior de un horno: algunos agujeros practicados en la pared de éste, por debajo del reborde de que está provisto el depósito, sirven para establecer un tiro conveniente.

Sea cual fuere la disposición adoptada, claro es, que aproximando más ó menos al hogar la vasija en que se verifique la evaporación, é introduciéndola una cantidad mayor ó menor en la masa de arena, puede conseguirse la temperatura adecuada al objeto en cada caso.

La arena usada en estos baños debe ser silícea, homogénea y perfectamente seca.

Baño de María.—La evaporación en el baño de María consiste en rodear la cápsula de vapor de agua. Á este efecto se usa comúnmente una vasija de cobre, hoja de lata ó hierro fundido, llena hasta la mitad de agua y perfectamente adaptada á un horno: la cápsula se dispone encima de la vasija. Á fin de que el mismo vaso pueda servir para cápsulas de diferentes tamaños, se emplean arandelas con aberturas de diversos diámetros, que se colocan directamente sobre la vasija y reciben la cápsula. Teniendo cuidado de que el agua de la vasija hierva siempre, la evaporación se hace con gran celeridad. Claro es que si la disolución es acuosa, no podrá entrar nunca en ebullición, á causa del enfriamiento que produce el aire exterior.

Reemplazando la arandela con una vasija de menores dimensiones que la primera y dispuesta como indica la figura 298, se obtiene un baño de María en que pueden hacerse desecaciones y evaporaciones á temperatura constante. Si se quiere que ésta sea superior á la correspondiente á la ebullición del agua, basta echar aceite en la primera vasija, con lo cual puede obtenerse una temperatura que se acerque á 300°. En tal caso, las vasijas deben ser de cobre y estar soldadas con latón ó hierro fundido. De las cuatro aberturas marcadas en la figura, en la tapa de la vasija interior, una está destinada á recibir un termómetro; dos, á facilitar la renovación del aire y el desprendimiento de vapores, y la última, que puede cerrarse, sirve para introducir el líquido que se va á evaporar.

Otras operaciones físicas.—Entre las operaciones físicas, que con frecuencia reclaman las análisis, deben contarse, como se indicó al principio, la *fusión*, la *ebullición*, la *cristalización*, la *destilación* y la *sublimación;* pero como quiera que todas ellas son bien conocidas, ya por el curso de Física, ya por el de Química general, no es necesario insistir sobre este punto.

OPERACIONES QUÍMICAS.

Desagregación.—En las análisis por vía húmeda se opera siempre en cuerpos en disolución, de suerte que es preciso hacer solubles á los que resisten á los disolventes comunes. Para ello, es indispensable someter las substancias á un tratamiento especial, que desuna sus elementos y dé lugar á nuevas combinaciones susceptibles de disolverse. Esta *desagregación* puede efectuarse casi siempre fundiendo el cuerpo con carbonato de potasio ó sodio; algunas veces se consigue ejecutar la operación por vía húmeda, empleando una disolución hirviendo y concentrada de carbonato alcalino. La acción de estos carbonatos se explica fácilmente: descomponen la substancia de tal manera, que los ácidos que encierra se combinan con la potasa ó con la sosa para formar sales con exceso de base, que son muy solubles; los óxidos eliminados por los álcalis, pasan al estado de combinaciones insolubles en el agua, pero atacables por los ácidos.

La desagregación por vía seca se efectúa casi siempre en crisoles de plata ó platino. Estos últimos no pueden emplearse si los fundentes son álcalis cáusticos, como se dijo anteriormente.

Precipitación.—Cuando en un líquido existen en suspensión, ó se forman mediante ciertas reacciones, cuerpos insolubles, se depositan generalmente en el fondo de la vasija, constituyendo lo que se llama *precipitados*.

En las operaciones analíticas se necesita continuamente precipitar substancias que se hallan disueltas en un líquido, lo cual puede efectuarse de muchas maneras. Es suficiente, en algunos casos, modificar el disolvente: el nitrato bárico, por ejemplo, es soluble en el agua, pero añadiendo ácido sulfúrico á la disolución, se consigue la precipitación del bario, en estado de sulfato. En la generalidad de los casos se procede por doble descomposición, es decir, empleando otra sal, cuya base forme con el ácido de la disuelta, ó inversamente, una tercera sal insoluble. Por ejemplo, si se agrega una disolución de nitrato bárico á otra de sulfato potásico, se verifica la reacción siguiente:

$$\left.\begin{matrix}(NO^{2\prime})^2\\ Ba''\end{matrix}\right\}O^2 + \left.\begin{matrix}SO^{2''}\\ K^2\end{matrix}\right\}O^2 = \left.\begin{matrix}(NO^{2\prime})^2\\ K^2\end{matrix}\right\}O^2 + \left.\begin{matrix}SO^{2''}\\ Ba''\end{matrix}\right\}O^2,$$

en virtud de la cual se precipita el sulfato bárico, que es insoluble, quedando disuelto el nitrato potásico.

Los precipitados que en los diversos casos se obtienen, presentan aspectos muy distintos; unos son *pulverulentos*, como los de carbonatos bárico, cálcico, etc.; otros, *cristalinos*, como los de fosfato amónico-magnésico, fluosilicato bárico, etc.; otros, *gelatinosos*, como los de hidratos alumínico y férrico; otros ofrecen la apariencia de la *leche cortada*, como los de cloruro de plata.

Inútil es advertir que en las operaciones analíticas deben emplearse para precipitar los cuerpos, los reactivos que los hagan más insolubles. También es evidente que cuando se obtengan precipitados que no sean insolubles por completo en el líquido en que se hallen, convendrá concentrar mucho la disolución. Así, por ejemplo, siendo algo soluble en el agua el sulfato de estroncio, se concentran fuertemente las disoluciones de sales de dicho cuerpo antes de precipitarlas por el ácido sulfúrico.

Algunos precipitados se producen en seguida; otros tardan algún tiempo, y hasta su formación suele exigir ciertas precauciones, como la de agitar vivamente el líquido, ó someterlo á una temperatura próxima á la de ebullición. Esto prueba que hay que verificar experimentos antes de asegurar que en determinadas ocasiones no aparece precipitado.

Las precipitaciones se efectúan generalmente, sobre todo cuando se trata de análisis cualitativas, en pequeños tubos cilíndricos de vidrio de $0^m,12$ á $0^m,15$ de longitud y 10 á 15 milímetros de diámetro, ó en las copas llamadas *de precipitados*. También suelen emplearse globos ó redomas de vidrio, en especial cuando la operación se lleva á cabo con el auxilio del calor. Las partes inferiores de las retortas, cortadas á altura conveniente, proporcionan asimismo vasijas muy á propósito para precipitaciones.

Una vez obtenido un precipitado en el fondo de una vasija, es preciso, en particular en las análisis cuantitativas, aislarlo del líquido, lo cual se consigue por decantación, por filtración ó por ambas operaciones combinadas.

Loción.—Es indispensable *lavar* el precipitado, esto es, separar de él todas las partículas solubles que hayan quedado adheridas. La loción puede llevarse á cabo decantando ó filtrando.

En el primer caso, no hay más que volver á sumergir el cuerpo en un líquido en que sea insoluble, y solubles las substancias que se trata de separar; se deja formar de nuevo el precipitado y se decanta otra vez, continuando así hasta obtener la pureza necesaria. Por último, para hacer desaparecer el líquido de que queda impregnado el cuerpo, se le somete á una evaporación lenta. Este método tiene los inconvenientes de exigir el gasto de mucho líquido y ser largo; sólo se emplea cuando el precipitado es completamente insoluble ó tan denso, que se deposita inmediatamente en el fondo de la vasija.

La loción por medio del filtro se verifica vertiendo sobre éste un disolvente á propósito, para que arrastre las materias solubles. El líquido que se emplea, siempre que no se oponga ninguna circunstancia especial, es el agua. La loción del precipitado debe efectuarse con la menor cantidad de agua que se pueda, á cuyo fin, no se echa una nueva porción de líquido, hasta que la primera se haya filtrado por completo. También es preciso que el agua caiga sobre el precipitado formando un filete muy fino, cuya dirección varíe á voluntad del operador, para lavar todas las partes del filtro. Esta última condición se satisface vertiendo el líquido, bien por medio de una pipeta que tenga encorvado su brazo superior, bien por medio del *frasco de surtidor*, representado en la figura 299, que consiste en una redoma tapada con un corcho ó un obturador de gutapercha, que tiene dos taladros que dan paso á igual número de tubos encorvados, *a* y *b;* la rama vertical del primero llega hasta cerca del fondo, y la inclinada termina en punta. Soplando por el tubo *b*, se carga el *a* y se determina la salida de un filete delgado de agua. El líquido empleado como disolvente se vierte unas veces frío, y otras á una temperatura más elevada. Para que en este último caso sea factible coger con la mano el frasco, suele rodearse el cuello de éste de un anillo de corcho. Muchos aparatos se han ideado para la loción de precipitados, pero siendo los dos que se han indicado los que se emplean casi exclusivamente, no es preciso insistir en este asunto.

La loción se tiene que continuar hasta que el líquido salga claro sin arrastrar materia alguna extraña. Para saber cuándo se llega á este estado, basta evaporar una gota del líquido filtrado, sobre una lámina de platino; el residuo que quede después de la evaporación, dará á conocer el grado de pureza que se ha obtenido.

Siempre que hay que pesar un precipitado, es preciso después de lavado *secarlo*, y algunas veces *calcinarlo* además.

DESECACIÓN.—Para *secar* un precipitado, se deja que el filtro que lo contiene escurra perfectamente el agua de las lociones: se saca en seguida el filtro del embudo y se extiende sobre papel de estraza, que se cuida de renovar con frecuencia. Cuando por este medio haya perdido la mayor parte del agua, se coloca en una cápsula y se acaba de secar en un baño de arena ó de María, ó simplemente al sol.

Acontece á menudo que el filtro no puede separarse con facilidad de su embudo; entonces se verifica la desecación dentro de él, teniendo la precaución de envolverlo en un pliego de papel de estraza, y no se extrae el filtro hasta que esté seco.

Cuando el precipitado puede pesarse, sin necesidad de calcinarlo, se conserva en su filtro, no olvidando colocar en el platillo de la balanza destinado á las pesas, un filtro exactamente igual al en que está contenido el cuerpo, á fin de evitar todo error en la determinación del peso.

CALCINACIÓN.—Cuando los precipitados son permanentes é inalterables, como sucede á la sílice, se hace más perfecta la desecación *calcinándolos*, procedimiento que se sigue también con las substancias que adquieren así composiciones más definidas, como el fosfato amónico-magnésico, el oxalato cálcico, etc.

La calcinación se hace ordinariamente en un crisolito de platino, empleándose los de porcelana, cuando los precipitados contienen alguna substancia que pueda alterar aquel metal. Se saca el precipitado del filtro por medio de una espátula de platino, lo más completamente posible, y operando sobre un pliego de papel glaseado, con objeto de evitar pérdidas; se introduce el cuerpo en el crisol y encima de aquel el filtro, previamente doblado; se comprime todo con la espátula y se calienta el crisol, cerrado con su tapa, hasta el calor rojo. Terminada la carbonización del filtro se destapa el crisol para que el aire pueda entrar en el interior, y se conserva candente mientras no desaparezca todo vestigio de carbón. En algunos casos en que los precipitados decrepitan, hay que conservar cerrado el crisol, hasta que terminen por completo las detonaciones. El crisol debe colocarse de tal manera, que la renovación del aire en su interior se haga con facilidad.

La calcinación es muy larga en ciertas ocasiones, sobre todo cuando la loción no ha sido perfecta ó cuando el precipitado está tan dividido, que se introduce en los poros del filtro: varios métodos hay para facilitar la operación. Uno de ellos consiste en rociar con ácido nítrico el carbón del filtro, dejar que se evapore el ácido y volver á calcinar, continuando así mientras sea necesario. También suele emplearse para acelerar la calcinación el ácido sulfúrico y el nitrato amónico, pero todos estos métodos son expuestos, por las reacciones que dichos cuerpos pueden ejercer sobre los precipitados, por cuya razón es preferible prolongar la operación directa, esto es, la acción del calor rojo.

Si el precipitado contiene un metal reducible, en presencia del carbón, ó si es tan tenue, que puede ser arrastrado en parte por los productos de la combustión del filtro, se calcinan separadamente éste y el precipitado, teniendo cuidado antes de oprimir ligeramente con los dedos el filtro, á fin de separar la mayor cantidad posible de materia y unirla á la extraída con la espátula. Por lo general, en este caso, se corta el papel en varios pedazos, que se queman uno por uno encima de la tapa del crisol ó en una cápsula de porcelana. Debe operarse siempre, como se ha dicho antes, sobre papel glaseado.

Después de calcinado un precipitado, se deja enfriar y se pesa rápidamente, no olvidando deducir del resultado el peso de las cenizas del filtro.

Los crisoles se calientan al calor rojo en hornillos, ó lo que es más frecuente, en lámparas de alcohol de doble corriente de aire. Sin embargo, algunas calcinaciones, como la de la cal, exigen temperaturas más elevadas que las que aquellas producen: entonces puede usarse la lámpara de Deville, que está representada en la figura 500. Se alimenta con aguarrás, y el aparato se compone de un frasco de nivel constante, *A*, que comunica por un tubo, *g*, con la lámpara propiamente dicha, la cual á su vez está en comunicación con un distribuidor de aire, *E*, que lo recibe por medio del tubo *e* y lo inyecta por el soplete *o*.

La lámpara (fig. 501), es la pieza más complicada del aparato y exige una descripción detallada. El espacio anular, *CC*, está cerrado por todas partes: por la superior y laterales con una placa gruesa de cobre, y por la inferior con una lámina, *BB*, que encorvándose exte-

riormente, deja alrededor del recipiente una capacidad que se llena de agua. La lámina tiene tres taladros *c*, *c*, *c*, que dan paso á los tubos *d'* , *d''* y *o*. El tubo *g* penetra en el espacio anular, cuya pared interior, *ii*, encorvada en forma de copa, tiene 8 agujeros, *t*, de 3 á 4 milímetros de diámetro.

La lámpara está cubierta con una cúpula de cobre, *u*, que se apoya en una ranura practicada en la parte superior de aquella y da salida á la llama por un orificio de unos 24 milímetros de diámetro. Finalmente, una chimenea un poco cónica, *D*, de 75 milímetros de altura, se ajusta sobre el aparato; en su base tiene anchas aberturas, *n*, destinadas á dejar pasar una gran cantidad de aire.

El extremo superior del soplete, *o*, termina en un tubito móvil, cuya punta mide 2 $^{1}/_{4}$ milímetros de diámetro; tal dimensión es á propósito en la mayor parte de los casos, pero de todas maneras conviene tener varias puntas con agujeros de diversos diámetros. La distancia vertical, que separa la abertura del soplete de los agujeros *t*, debe ser 5 milímetros.

Los tubos *d'* y *d''*, destinados á conducir el aire á la superficie superior del aguarrás de la lámpara, se reunen en uno solo, *d*, provisto de una llave, *r*, y que termina en el depósito *E*, en comunicación con el fuelle de una lámpara de esmaltar.

Para hacer uso del aparato, se llena el frasco *A* (fig. 300) de esencia de trementina, y después de haber armado las diversas piezas, se establece cuidadosamente el nivel del tubo *ab*, que debe quedar 5 milímetros por debajo de los agujeros *t* (fig. 301). Se abre entonces la llave *f* (fig. 300), la cual se cierra en el momento que el líquido llega en la lámpara al nivel del extremo *b* del tubo *ab*. En la capacidad *BB* (fig. 301) se coloca agua, que se hace hervir algunos instantes, calentando la parte inferior, por medio de una lamparilla de alcohol. Hecho esto se introduce aire con el fuelle, se abre poco á poco la llave *r* y se aproxima al mismo tiempo á las aberturas *n*, la llama de una lámpara ordinaria. Si el agua de la capacidad *BB* ha hervido bastante tiempo, la tensión del aguarrás es suficiente para que el aire saturado de su vapor, se inflame ardiendo con llama rojiza y clara. Si el vapor de esencia no se inflamase, bastaría para conseguirlo cerrar la llave *r* y hacer hervir de nuevo el agua. Una vez prendido el gas se aumenta poco á poco la abertura de la llave *r* y se hace variar

la velocidad del aire inyectado por el fuelle, hasta que funcionando activamente la lámpara, se hayan determinado de una manera conveniente las condiciones necesarias para la producción de la temperatura más elevada que sea posible. Algunos instantes después de haber encendido la lámpara, se abre la llave *f* (fig. 300); para que siga ardiendo, no hay más que hacer mover el pedal del fuelle; si se quiere apagar basta cerrar primero la llave *r* y después la *f*.

Con el aparato que se acaba de describir se pueden fundir substancias que exijan temperaturas muy elevadas; pero preferible á este medio y á todos los anteriores, es una lámpara alimentada con gas de alumbrado. No se explicará, sin embargo, la disposición que se adopta para estos mecheros, porque raras veces podrán los Ingenieros disponer de ellos.

Calcinación.—En los experimentos analíticos, no sólo ocurre el caso de calcinar precipitados, que es el que se acaba de considerar, sino que se calcinan muchas substancias con objetos muy variados. No se añadirá nada sobre el particular, pues en los párrafos anteriores se han detallado las precauciones que esta operación exige.

Oxidación.—La *oxidación* tiene por objeto aumentar el grado de oxigenación de los cuerpos. Siendo numerosos los ejemplos que presenta la Química general de la manera de llevarla á cabo, bastarán muy pocas palabras.

La oxidación puede hacerse por vía seca ó húmeda. En el primer caso, se verifica calcinando la substancia, en una vasija abierta, á fin de que el aire se renueve frecuentemente.

Los principales reactivos que se emplean para la oxidación por vía húmeda son: el ácido nítrico, el agua regia y el cloro. El ácido nítrico, á temperaturas apropiadas, oxida y disuelve casi todos los metales; ataca á muchos sulfuros, convirtiendo su azufre en ácido sulfúrico, y transforma las sales ferrosas en férricas. El agua regia oxida y disuelve el oro, el platino, etc. El cloro determina la oxidación de muchos cuerpos ya disueltos, como el ácido sulfuroso, las sales ferrosas, etc.

Reducción.—La *reducción* tiene por objeto desoxigenar un cuerpo completa ó parcialmente. Por las razones ya expuestas, no se harán más que breves consideraciones acerca de este asunto.

La reducción, lo mismo que la oxidación, puede verificarse por vía seca ó húmeda.

Las reducciones por vía seca se efectúan, bien en una atmósfera de hidrógeno, bien mezclando el cuerpo con carbono y sometiéndolo á un calor intenso en un crisol de arcilla refractaria; bien por cementación, calentando la substancia, á temperatura conveniente, en un crisol de carbón ó brasca.

Las reducciones por vía húmeda se practican de muy distinta manera, según las substancias en disolución que se quiera reducir á un grado inferior de oxidación. Bastará poner un ejemplo: una sal férrica se transforma en sal ferrosa, haciendo que una corriente de hidrógeno sulfurado atraviese la disolución. Considerando el nitrato férrico, la reacción que se verifica es la siguiente:

$$2\left[\begin{matrix}(NO^{2'})^{6}\\ Fe^{2}\end{matrix}\Big\}\,O^{6}\right] + 2H^{2}S = 4\left[\begin{matrix}(NO^{2'})^{2}\\ Fe''\end{matrix}\Big\}\,O^{2}\right]$$

$$+\,4\left[\begin{matrix}NO^{2'}\\ H'\end{matrix}\Big\}\,O\right] + \begin{matrix}S\\ S\end{matrix}\Big\}.$$

Para varias reducciones se emplean á menudo, como reactivos, el hiposulfito sódico, el ácido sulfuroso, una lámina de zinc, etc.

Conocidas todas las operaciones descritas, que en parte son comunes á las investigaciones cualitativas y cuantitativas, se pasará á exponer los métodos generales de análisis.

PROCEDIMIENTOS GENERALES DE ANÁLISIS.

ANÁLISIS CUALITATIVAS POR LA VÍA HÚMEDA.

Cuerpos que se han de investigar.—Ya se ha dicho que no se considerará el problema general de la análisis química de una substancia cualquiera; por tanto, en lo que sigue sólo se tratará de reconocer la existencia de los cuerpos siguientes, ó de los simples de que se componen, que son los únicos que suelen entrar en los materiales, cuyo ensayo puede interesar al Ingeniero de Caminos.

Ácido clorhídrico.
Ácido fluorhídrico.
Ácido nítrico.
Ácido sulfúrico.
Ácido fosfórico.
Sílice.
Anhidrido carbónico.

Potasa.
Sosa.
Amoniaco.
Barita.
Estronciana.
Cal.
Magnesia.
Alúmina.
Óxidos de manganeso.
Óxidos de hierro.

Es posible que los procedimientos que se describirán hagan resaltar elementos diferentes de los incluídos en la relación anterior; en esos casos, que rarísima vez se presentarán, será preciso recurrir para separar los elementos á tratados especiales de Química analítica, cuyo profundo estudio no es indispensable para el constructor.

En todo lo que se va á exponer, deben emplearse pequeñas cantidades de reactivos y de los cuerpos que se hayan de ensayar, pudiendo graduarse en uno ó dos gramos el peso de cada una de aquellas.

Por lo general, toda operación analítica se comienza, sobre todo cuando no se tiene indicio alguno de la naturaleza del cuerpo, practicando ensayos preliminares, y muchas veces se continúa estudiando la

acción ejercida sobre la substancia, por el soplete y los reactivos de la vía seca.

Después de haber adquirido una idea aproximada del cuerpo, es cuando ordinariamente se procede por la vía húmeda, sin que esto quiera decir que en ciertas ocasiones no se emplee desde luego este método, pues que todo depende del conocimiento que se tenga de la materia que se trate de analizar.

Disolventes.—Antes de emplear reactivo de ninguna especie, es preciso reconocer la solubilidad de la substancia en los disolventes usados con más frecuencia, que son el agua, los ácidos clorhídrico y nítrico y el agua regia; pero como quiera que éste sólo se emplea para la separación de metales, que no ofrecen interés en la construcción, únicamente se considerarán los tres primeros.

Cuando no se sabe el disolvente que conviene al cuerpo dado, se empieza por ensayar su solubilidad en el agua, á cuyo efecto se introduce en una vasija que contenga un volumen de líquido 10 ó 15 veces mayor que el de la substancia. Si después de agitar la mezcla no se verifica la disolución al cabo de algún tiempo, se traslada á un tubo ó pequeño matraz y se hace hervir dos ó tres minutos á la llama de una lámpara de alcohol. Entonces pueden ocurrir tres casos: 1.°, que la substancia se disuelva completamente en el agua; 2.°, que sea insoluble, lo que se reconoce en que la evaporación de unas gotas del líquido, previamente decantado ó filtrado, no deja ningún residuo, y 3.°, que sea en parte soluble, de tal manera que quede una porción del cuerpo sin disolverse y que la evaporación del líquido produzca un residuo mayor ó menor.

En este último caso, es preciso determinar si la disolución parcial proviene de la presencia de varios cuerpos, unos solubles y otros no, ó de la poca solubilidad de una sola substancia, que haya llegado á saturar la cantidad de líquido empleada. Para resolver la cuestión, basta aislar la parte no disuelta, decantando ó filtrando el agua; tratar repetidas veces el sólido con agua destilada, y si el residuo de la evaporación es próximamente constante, puede asegurarse que el cuerpo no es una mezcla de substancias solubles é insolubles, sino que su solubilidad es pequeña y necesitaría gran volumen de agua para disolverse por completo. Si, al contrario, el residuo de las evaporaciones sucesivas es cada vez menor, llegando á desaparecer, claro es que

el cuerpo contiene materias insolubles, que por este procedimiento pueden separarse de las demás.

Las materias cuya solubilidad es muy pequeña, se consideran en las análisis como insolubles, puesto que no se disuelven lo bastante para provocar reacciones bien determinadas.

Sometiendo á los experimentos señalados las sales formadas por los ácidos y las bases, que suelen entrar en los materiales, es factible averiguar desde luego las que son solubles, si se exceptúa el carbonato amónico que se volatiliza casi al mismo tiempo que el agua, pero cuya presencia siempre se acusa durante la evaporación por el olor que le es peculiar.

Las sales solubles en el agua, entre las que pueden formar los ya mencionados ácidos y bases, y que se encuentran comúnmente en los productos naturales, son las que se expresan á continuación:

Cloruros y nitratos de todos los metales correspondientes á las bases indicadas anteriormente.
Sulfatos de potasio, sodio, amonio, aluminio, magnesio, manganeso y hierro.
Fosfatos alcalinos.
Silicatos de potasio y sodio, con gran exceso de base.
Carbonatos alcalinos.

Los cuerpos insolubles en el agua, se someten á la acción del ácido clorhídrico diluído, y si es menester, á la del mismo ácido concentrado y caliente. Se empieza por colocar la substancia pulverizada en un matraz ó en un tubo cerrado por un extremo, se vierte sobre ella un volumen próximamente décuplo, de ácido clorhídrico, y si no se observa fenómeno alguno, se calienta el recipiente á la llama de una lámpara de alcohol, hasta la ebullición del líquido. Puede suceder, como cuando se empleaba por disolvente el agua, que el cuerpo sea soluble, insoluble ó soluble en parte, lo cual se reconoce por los mismos caracteres ya señalados, debiendo sólo advertir que antes de decantar ó filtrar el líquido, conviene añadirle un volumen doble ó triple de agua. Inútil es decir que en el caso de contener el cuerpo substancias solubles é insolubles, hay que separarlas, para someterlas después á tratamientos distintos.

Si la materia es atacada por el ácido, deben observarse con cuidado los gases, que con frecuencia se desprenden. Por ejemplo: los carbonatos se disuelven con efervescencia, y emiten anhidrido carbó-

nico (1); varios óxidos singulares aislan el cloro (2); muchos sulfuros desprenden hidrógeno sulfurado (3), etc.

Hay en la naturaleza varios silicatos que son más ó menos descompuestos por el ácido clorhídrico concentrado, el cual disuelve las bases, separándose la sílice en estado gelatinoso. Cuando los silicatos están mezclados con carbonatos ó sulfuros, como sucede á menudo, además de verificarse la referida separación, se desprenden anhidrido carbónico ó hidrógeno sulfurado.

Los cuerpos que resisten á la acción del agua y del ácido clorhídrico, se someten á la del ácido nítrico, siguiendo exactamente el mismo método que con el disolvente anterior. Este ácido es el oxidante más enérgico que se emplea en los ensayos por la vía húmeda, y el disolvente por excelencia de las aleaciones y metales, á los que transforma, por lo general, en nitratos, desprendiéndose óxido nítrico ó vapores rutilantes. Muchos sulfuros abandonan el azufre por la acción del ácido nítrico, convirtiéndose poco á poco aquel metaloide en ácido sulfúrico; otros, se transforman en sulfatos. El tratamiento de los sulfuros exige casi siempre que el ácido sea muy concentrado; para el de los demás cuerpos basta que el disolvente tenga una densidad de 1,2. Efectuada la disolución debe añadirse agua, antes de usar los reactivos.

El ácido nítrico disuelve muchos cuerpos más que el clorhídrico, y si, de ser posible, se emplea éste con preferencia, es porque el primero complica é impide á veces la acción de ciertos reactivos, por ejemplo, la del hidrógeno sulfurado, y porque es más fácil quitar de un líquido un exceso del segundo ácido que del primero.

Examinado el poder disolvente del agua y de los otros dos cuerpos tantas veces nombrados, sobre las substancias que constituyen los materiales de construcción, resulta que las únicas insolubles en los tres líquidos, son las siguientes:

(1) $\left.\begin{matrix} CO'' \\ Ca'' \end{matrix}\right\} O^2 + 2HCl = Ca''Cl^2 + H^2O + CO^2.$

(2) $MnO^2 + 4HCl = Mn''Cl^2 + 2H^2O + \left.\begin{matrix} Cl \\ Cl \end{matrix}\right\}.$

(3) $R''S + 2HCl = R''Cl^2 + H^2S.$

Sílice.
Sulfato de calcio, que, sin embargo, es soluble en pequeña cantidad.
Sulfatos de bario y estroncio.
Silicatos sin exceso de base alcalina.
Fluoruro de calcio.

En resumen, los ensayos que preceden permiten dividir todas las combinaciones que se han de examinar, en tres grandes grupos: 1.°, *cuerpos solubles en el agua;* 2.°, *insolubles ó poco solubles en el agua, pero que se disuelven en los ácidos clorhídrico ó nítrico;* y 3.°, *insolubles ó poco solubles en el agua y en los ácidos.*

Podrá suceder que un mismo cuerpo contenga materias incluídas en dos y aun en los tres grupos, pero lo que antecede facilita separarlas, y bastará, por consiguiente, exponer la manera de determinar los ácidos y las bases de las diversas substancias contenidas en cada grupo, considerando tan solo los cuerpos que suelen entrar en la composición de los materiales de uso más frecuente.

Para efectuar estas investigaciones, se divide cada una de las disoluciones obtenidas en varias porciones, que se puedan someter á tratamientos especiales. El volumen de aquellas debe ser de 1 á 2 centímetros cúbicos.

DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS Y DE LAS BASES

DE CUERPOS SOLUBLES EN EL AGUA.

Determinación de los ácidos.—Primer ensayo.—Se vierte en la disolución ácido nítrico, pudiendo ocurrir cuatro casos: 1.°, que se produzca efervescencia; 2.°, que se forme un precipitado blanco, más ó menos abundante; 3.°, que se presenten ambos fenómenos á la vez; y 4.°, que no se determine efervescencia ni precipitación.

En el primer caso, existe anhidrido carbónico, pues si bien la reacción pudiera corresponder al gas sulfhídrico, este cuerpo no entra, por lo general, en las substancias que se consideran; por lo demás, se distinguen con facilidad uno y otro por el olor del gas desprendido.

La segunda reacción indica la presencia de la sílice. Este ácido es algo soluble en el agua y en el ácido nítrico, por cuya razón pudiera no precipitarse si entra en la composición de una sal muy diluída: para

precipitar la sílice en tal circunstancia, no hay más que evaporar el líquido hasta la sequedad, y tratar el residuo con agua acidulada con ácido clorhídrico, que disuelve el cuerpo si no contiene sílice y precipita á ésta en caso contrario.

La tercera reacción prueba la presencia á la vez, del anhidrido carbónico y la sílice.

Finalmente, en el cuarto caso hay que pasar al

SEGUNDO ENSAYO.—Terminado el primero y después de haber eliminado por la ebullición el anhidrido carbónico y por la filtración la sílice, si alguno de esos cuerpos existiese, se divide la disolución en dos partes, operándose el segundo ensayo en una de ellas. Á este efecto, se añade al líquido una sal soluble de bario, después de haberle neutralizado con amoniaco (1), pudiendo suceder: 1.°, que se forme un precipitado completamente insoluble en el ácido nítrico; 2.°, un precipitado soluble en el mismo ácido; 3.°, un precipitado en parte soluble; y 4.°, que no se produzca precipitación.

El primer fenómeno acusa la presencia del ácido sulfúrico; el segundo, la del fosfórico y el tercero la de ambos. En el cuarto caso hay que pasar al tercer ensayo.

Siendo difícil reconocer, en algunas circunstancias, si un cuerpo es soluble en parte, convendrá, cuando se tengan dudas de si una substancia contiene ó no á la vez los ácidos sulfúrico y fosfórico, comprobar directamente la existencia del último. Para ello, en la disolución en que empezó á hacerse este ensayo, que debe estar muy ácida, se vierte un exceso de nitrato de plata; si se forma el cloruro de este metal, se separa filtrando ó decantando; se añade en seguida gota á gota y con mucha precaución amoniaco, que da un precipitado amarillo de fosfato argéntico, $\left.\begin{matrix} PO''' \\ Ag^3 \end{matrix}\right\} O^3$, cuando el cuerpo contiene ácido fosfórico. Es preciso cuidar de no verter gran cantidad de amoniaco, porque el referido fosfato es soluble en un exceso de aquel cuerpo, pero de todos modos basta calentar el líquido para asegurarse de si se forma ó no el precipitado.

También puede reconocerse la presencia del ácido fosfórico, que

(1) Es preciso neutralizar el líquido, porque los fosfatos se disuelven fácilmente en los ácidos.

estará combinado con un álcali, toda vez que los fosfatos que se consideran son solubles en el agua, por el hecho de que esas sales dan un precipitado blanco y cristalino de fosfato amónico-magnésico, cuando se les añade cloruro amónico y sulfato magnésico, sobre todo si se agrega amoniaco cáustico y se agita la mezcla.

Si á pesar de todo lo dicho, quedasen algunas dudas respecto á la existencia de los ácidos sulfúrico y fosfórico, podrían aclararse recurriendo á ensayos sencillos por la vía seca. En efecto, si se evapora hasta la sequedad una pequeña cantidad de la materia soluble dada, se reconoce con la mayor facilidad la presencia de cualquier sulfato sólido, porque si el residuo de la evaporación se introduce en un tubo cerrado, se mezcla con carbón y carbonato alcalino y se calcina en un hornillo común, sabido es que cuando existe algún sulfato, se forma un sulfuro que, tratado por los ácidos, da lugar á un desprendimiento de hidrógeno sulfurado. Este experimento puede variarse en la forma, pues en lugar de mezclar el residuo de la evaporación con carbón y carbonato alcalino, no hay inconveniente en someterlo á la llama de reducción, adherido á un glóbulo de sosa y sílice.

Un ensayo completamente análogo determina la presencia de un fosfato. Basta calcinar el residuo seco de la evaporación de la disolución primitiva con un fragmento de potasio, formándose así un fosfuro, que en presencia del agua, produce un desprendimiento de hidrógeno fosforado, cuyo olor y aspecto son característicos. Sin embargo, este procedimiento pudiera ofrecer dudas si el cuerpo dado contuviese sílice, porque el hidrógeno siliciado despide un olor semejante al del fosforado, pero siempre cabría reconocer éste por la forma especial en que se desprende.

TERCER ENSAYO.—En la segunda porción de líquido que se separó después del primer ensayo, se vierte nitrato de plata. Pueden presentarse dos casos: 1.°, que se forme precipitado; y 2.°, que no se verifique este fenómeno. En el primero, la disolución puede contener los ácidos clorhídrico, bromhídrico, yodhídrico y cianhídrico, reconociéndose el clorhídrico, que es el único que interesa, por las circunstancias de disolverse el precipitado en el amoniaco, ser insoluble en el agua y en el ácido nítrico y ennegrecerse por la acción de la luz.

En el segundo caso, es decir, cuando no se produce precipitación, se pasa al

Cuarto ensayo.—Tiene por objeto reconocer la existencia del ácido nítrico.

La manera más sencilla de determinar si hay ácido nítrico libre en la disolución primitiva, está fundada en la propiedad que tiene dicho ácido de disolver á casi todos los metales, cediéndoles parte de su oxígeno y desprendiéndose ácido nitroso ú óxido nítrico, que se convierte en hiponitrido, en contacto del aire. Todo se reduce á introducir unas hojuelas de cobre en el líquido, y si se escapa el hiponitrido, fácilmente reconocible por los vapores rutilantes que le caracterizan, puede asegurarse que hay ácido nítrico en libertad.

Pocas veces, al ensayar los materiales de construcción, se encuentra ácido nítrico libre en la disolución acuosa: por lo general, convendrá recurrir á experimentos en la substancia sólida pulverizada, para deducir si contiene ó no aquel ácido, valiéndose para ello de los caracteres distintivos de los nitratos, entre los que conviene citar en primer término el de deflagrar cuando se proyectan en carbones encendidos, y detonar al calentarlos con carbón en polvo.

Si estos ensayos hacen creer que existen nitratos en la disolución, se evidencian provocando el desprendimiento de hiponitrido, por medio de hojuelas de cobre, según se explicó antes: para ello, se calientan ligeramente, en un tubo tapado, 1 ó 2 centímetros cúbicos de la disolución, con un poco de ácido sulfúrico y de laminillas ó torneaduras de aquel metal.

Se acusan dosis insignificantes de nitratos, como las que se hallan en el residuo de la evaporación de aguas naturales, desliendo la substancia en ácido sulfúrico concentrado y vertiendo un poco de brucina (1), que produce una coloración intensa.

Determinación de las bases.—El conocimiento de los ácidos que entran en la composición del material, arroja desde luego bastante luz sobre la naturaleza de las bases, y permite, en general, seguir procedimientos rápidos para su investigación. Así, por ejemplo, si se sabe que el cuerpo encierra ácido sulfúrico, inútil sería todo ensayo en que se tratase de determinar la barita ó la estronciana, puesto que son insolubles los sulfatos correspondientes. Del mismo modo, si los experimentos precedentes hubieren acusado la presencia del anhidrido carbónico, del ácido fosfórico ó de la sílice, no hay inconveniente en asegurar que la potasa, la sosa y el amoniaco son las únicas bases que puede contener la materia, porque tan sólo los carbonatos, fosfatos y silicatos alcalinos son solubles en el agua, y aun los últimos necesitan un exceso de álcali. Se prescindirá, sin embargo, por ahora, de las simplificaciones que puedan introducirse, pasando á explicar el método general para descubrir la presencia de las bases que entran comúnmente en los materiales, excepto los óxidos de manganeso, que se reconocen con la mayor claridad por medio del soplete, pues sometidos á la llama de oxidación comunican el color violado de la amatista á un botón de bórax ó de sal de fósforo, sobre todo si se tiene cuidado de tocar con nitrato de potasio el botón enrojecido y calentarlo nuevamente.

(1) La *brucina* puede considerarse como un alcaloide vegetal.

Primer ensayo.—Se vierte en la disolución primitiva cierta cantidad de ácido clorhídrico (1), y después un ligero exceso de amoniaco. Si no se forma precipitado, no existen óxidos de hierro ni alúmina; si la precipitación se verifica, puede el cuerpo contener alguno de dichos óxidos ó ambos á la vez. En el primer caso, se pasa al segundo ensayo; en el otro, se procede á separar los óxidos.

Á este efecto, se filtra el líquido y se lava en seguida el precipitado con agua templada. Si la masa obtenida es completamente blanca y no cambia su coloración por la acción del aire, no hay más que alúmina ó dosis insignificantes de hierro. Cuando éstas existen, si se añade al líquido primitivo una gota de ácido nítrico (2), el ferrocianuro potásico produce un precipitado de azul de Prusia.

En el caso que el precipitado determinado por el amoniaco pierda su blancura por la acción atmosférica, tomando un color verde al principio y luego rojo obscuro, la disolución contiene óxidos de hierro.

Por último, si el precipitado presenta desde que se forma un color más ó menos obscuro, ó lo adquiere en cuanto se le expone al aire, el líquido encierra hierro y tal vez alúmina. Para descubrir la pre-

(1) Se añade ácido clorhídrico para evitar la precipitación parcial de la magnesia, en caso de que existiera en la disolución que se ensaya.

(2) La gota de ácido nítrico tiene por objeto sobreoxidar las sales ferrosas que pudieran estar disueltas.

sencia de este óxido se lava el precipitado, vertiendo luego sobre el filtro ácido clorhídrico diluído, que disuelve tanto á la alúmina como al óxido de hierro; se recoge la disolución, se le añade primero una gota de ácido nítrico, después amoniaco para neutralizarlo, y finalmente, ocho ó diez veces su volumen de una disolución de potasa: se hace hervir algún tiempo la mezcla, y se filtra otra vez. El filtro retiene el óxido de hierro, que es insoluble en la potasa; la alúmina, si existe, queda disuelta: se vierte sobre el último líquido un pequeño exceso de ácido clorhídrico y un poco de amoniaco, que produce un precipitado blanco y en forma de copos flotantes, de hidrato de aluminio, cuando el cuerpo dado contiene este metal. Si no se forma precipitado, se puede asegurar que no entra la alúmina en la composición de la materia, y que el precipitado obtenido por la acción del amoniaco sobre el líquido primitivo era sólo de óxido de hierro. Sin embargo, es preciso cuidar de destruir las materias orgánicas del filtro, pues sin tal precaución pudiera no presentarse el precipitado de alúmina, si ésta se hallara en corta cantidad (1).

SEGUNDO ENSAYO.—Sobre el líquido primitivo, después de tratado por el amoniaco y de separar de él los óxidos de hierro y la alúmina, se vierte oxalato amónico. Si no se produce depósito, no existe en la disolución barita, estronciana ni cal, y se pasa á verificar el tercer experimento; en caso contrario, el cuerpo puede contener alguna ó algunas de dichas bases.

En los materiales de construcción rara vez hay barita ni estronciana, de suerte que, en general, el precipitado obtenido es de oxalato cálcico. No obstante, si se quiere proceder con todo rigor, se añade á la disolución sobre que se ha empezado á operar en este ensayo otra de yeso; si la reacción no da lugar á precipitado, sólo hay cal; si lo produce, puede haber barita ó estronciana, que se distinguen una de otra por la circunstancia de que, cuando hay barita, el ácido hidrofluosilícico determina un precipitado en la misma disolución que lo produjo el sulfato de calcio, y cuando sólo existe estronciana, el mismo ácido no ocasiona precipitación alguna. También puede usar-

(1) Para destruir las materias orgánicas del filtro, basta espolvorear con clorato potásico la disolución del precipitado en ácido clorhídrico, al hacerla hervir con la potasa.

se como reactivo el cromato potásico, que precipita, en disoluciones diluídas, á la barita y no á la estronciana.

TERCER ENSAYO.—Terminado el anterior, se empieza por filtrar el precipitado que haya podido producir el oxalato amónico. Así se obtendrá un líquido que no puede contener óxido de hierro, alúmina, barita, estronciana ni cal. Se añade á la disolución un poco de amoniaco y de fosfato amónico, y se calienta: si se forma inmediatamente un precipitado blanco, ó un depósito cristalino, al cabo de algunas horas de reposo, contiene magnesia (1); en caso contrario, no existe esta base, pero puede haber en la disolución potasa, sosa ó amoniaco, álcalis que se determinan como se verá en el siguiente ensayo.

Hay que tener mucho cuidado, antes de emplear el fosfato amónico, de asegurarse de si el oxalato ha precipitado toda la cal; podría suceder muy bien, de no ser así, que el precipitado obtenido por este ensayo no fuese fosfato amónico-magnésico, sino simplemente fosfato cálcico, debido á la parte de cal no precipitada.

CUARTO ENSAYO.—Tiene por objeto examinar si la substancia dada encierra amoniaco, potasa ó sosa. El primer álcali se determina concentrando por la ebullición, si está muy diluída, la disolución primitiva, añadiéndole un poco de cal ó potasa y calentándola ligeramente. Si hay amoniaco se desprende, siendo reconocible por su olor y por la reacción básica que ejerce en el papel de tornasol, expuesto á sus vapores.

La investigación de la potasa y la sosa no es tan fácil y exige una precaución particular, cuando la materia contiene ácido sulfúrico y magnesia. Suponiendo primero que no existe ácido sulfúrico, se vierte en una porción del líquido primitivo un exceso de carbonato amónico; se filtra para separar el precipitado que se forme; se evapora hasta la sequedad el líquido filtrado, y se calienta al rojo poco intenso el residuo de la evaporación, para desalojar las sales amoniacales y descomponer las de magnesio. El producto de esta operación se trata nuevamente por el agua, que sólo disuelve las sa-

(1) El precipitado es en tal caso el fosfato amónico-magnésico:

$$PO''' \left\{ \begin{array}{l} ONH^4 \\ \left. \begin{array}{l} O \\ O \end{array} \right\} Mg'' \end{array} \right.$$

les de potasio y sodio. La separación de estos dos cuerpos se efectúa por el cloruro platínico, $PtCl^4$, que, vertido en una disolución de sal potásica, forma un cloruro doble de platino y potasio, que es muy poco soluble en el agua y se precipita, presentando un color amarillo. El mismo cuerpo, vertido en una disolución de sales de sodio, no da precipitado.

Si el líquido primitivo contiene ácido sulfúrico y magnesia, como el sulfato de magnesio no se descompone completamente al calor rojo, hay que empezar por verter en la disolución cloruro de bario; se añade en seguida un exceso de carbonato amónico; se filtra, se somete de nuevo á la acción del agua el líquido filtrado, y se concluye el experimento como en el caso precedente.

Con lo expuesto se determinan todos los elementos solubles en el agua, que contienen comúnmente los materiales de construcción. Los principiantes deberán, sin embargo, ejercitarse en comprobar la naturaleza de los diversos componentes que vayan separando, por cuantos medios les suministre el conocimiento de la Química general.

DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS Y DE LAS BASES

DE CUERPOS INSOLUBLES Ó POCO SOLUBLES EN EL AGUA, PERO SOLUBLES EN LOS ÁCIDOS CLORHÍDRICO Ó NÍTRICO.

Entre los cuerpos insolubles en el agua, pero solubles en los ácidos clorhídrico ó nítrico, se hallan substancias que forman parte con suma frecuencia de los materiales que usa el Ingeniero. Así, las cales, los cementos y las calizas pertenecen al grupo que va á considerarse.

Se ha indicado al tratar de los disolventes, que el cuerpo se somete á la acción del agua, cuidando de separar por el filtro ó la decantación todas las partes insolubles. Éstas se introducen en ácido clorhídrico ó nítrico y se aislan las substancias que permanezcan depositadas, para sujetarlas á un tratamiento especial. Sabiendo ya cómo se evidencian los elementos contenidos en el primer disolvente, bastará ahora ocuparse en la investigación de las materias encerradas en el segundo. Para ello se seguirá el mismo orden que en el caso

precedente, esto es, se determinarán primero los ácidos y luego las bases.

Determinación de los ácidos.—Concretando el estudio á los cuerpos tantas veces referidos, los únicos ácidos que pueden entrar en la disolución son el anhidrido carbónico, la sílice y el ácido fosfórico.

Primer ensayo.—Si al verificar la disolución de la substancia en ácido clorhídrico ó nítrico, se produce efervescencia, hay anhidrido carbónico. En caso contrario, se procede al

Segundo ensayo.—Se evapora hasta la sequedad una corta porción del líquido, y se trata el residuo con agua acidulada, que precipita la sílice, si semejante ácido existe en el cuerpo dado. Cuando no se forma precipitado, se pasa al

Tercer ensayo.—Tiene por objeto reconocer la presencia del ácido fosfórico, y ofrece mayores dificultades que los dos anteriores. Pueden salvarse haciendo uso de algunos de los caracteres que se expresan á continuación:

1.° Cuando la disolución ácida no se precipita por el ácido sulfhídrico ni por el sulfuro amónico, esto es, si no tiene hierro ni alúmina, y el amoniaco da lugar á un precipitado blanco, existe ácido fosfórico (1). Este procedimiento se aplica principalmente á las disoluciones de fosfatos alcalino-térreos.

2.° Cuando el ácido fosfórico está combinado con la cal, la barita ó la estronciana, se reconoce disolviendo el cuerpo en ácido nítrico, vertiendo en la disolución nitrato de plata y añadiendo amoniaco con mucha precaución. El precipitado amarillo de fosfato argéntico, aparece en el momento en que el líquido está completamente neutro. Si el cuerpo dado se hallase disuelto en ácido clorhídrico, sería necesario empezar por echar en la disolución ácido nítrico y un exceso de nitrato de plata, filtrando el cloruro de este metal, que inmediatamente se precipitaría.

3.° El ácido fosfórico se acusa, si se encuentra combinado con la cal en una disolución de ácido clorhídrico, añadiendo á ésta un volu-

(1) Se explica la formación del precipitado por el hecho de que los fosfatos no alcalinos disueltos en un ácido, se hacen insolubles cuando el líquido pierde su acidez.

men de alcohol igual al suyo, y después ácido sulfúrico. Se forma así y se precipita el sulfato de calcio (1), quedando mezclado el ácido fosfórico con los excesos de ácidos clorhídrico y sulfúrico empleados. Se filtra el líquido y se determina si existe en él ácido fosfórico, haciendo uso de las propiedades conocidas de este cuerpo. Puede, por ejemplo, verterse un exceso de amoniaco y una sal soluble de magnesio, con lo que se precipitará el fosfato amónico-magnésico.

4.° Finalmente, para descubrir el ácido fosfórico, puede hacerse hervir durante algunos minutos una porción de la disolución ácida, con un exceso de carbonato sódico, y filtrar para separar el precipitado que se forma. Si el líquido contiene algún fosfato, como no puede ser alcalino, pues que entonces se hubiera disuelto en el agua, será descompuesto por el carbonato de sodio, dando lugar á un fosfato de dicho metal. Conseguido este resultado, se puede proceder como se explicó al hablar de los fosfatos solubles en el agua. El ensayo puede hacerse directamente con la materia insoluble en el agua, sin necesidad de disolverla en ácido clorhídrico, ó bien con el producto de la evaporación de la disolución ácida: en ambos casos conviene emplear el carbonato sódico seco, y hacer enrojecer la mezcla, después de lo cual se somete la masa resultante á la acción del agua, y se filtra con rapidez.

Con estas indicaciones se tienen suficientes datos para reconocer el ácido fosfórico en todos los cuerpos que haya que examinar. Claro es que los procedimientos podrán simplificarse en muchos casos; si se sabe, por ejemplo, que la substancia ensayada no tiene más fosfato que el de calcio, bastará aplicar el tercer método de los cuatro explicados.

Determinación de las bases.—Puede ocurrir: 1.°, que el cuerpo no contenga ácido fosfórico, y 2.°, que encierre dicha substancia.

En el primer caso se procede exactamente de la misma manera que cuando la materia es soluble en el agua.

En el segundo, se lava cuidadosamente el precipitado obtenido después de tratar la disolución ácida ó la substancia sólida por el carbonato sódico; se disuelve aquel en ácido clorhídrico y se opera

(1) El sulfato de calcio es insoluble en el alcohol.

con esta disolución del mismo modo que cuando en el cuerpo no hay ácido fosfórico.

DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS Y DE LAS BASES

DE CUERPOS INSOLUBLES Ó POCO SOLUBLES EN EL AGUA Y EN LOS ÁCIDOS CLORHÍDRICO Y NÍTRICO.

Ya se han mencionado los principales compuestos naturales que son insolubles en el agua y en los ácidos clorhídrico y nítrico. Algunos de ellos se reconocen con la mayor sencillez por ensayos muy expeditos; pero otros resisten á la acción de estos medios, y no se disuelven en los reactivos ordinarios, sino después de varias operaciones, que no dejan á veces de presentar dificultades.

Determinación de los sulfatos.—Ante todo, debe procurarse determinar si existen sulfatos y fluoruros. Lo primero se verifica, como se ha explicado anteriormente, por ensayos por la vía seca que reduzcan los sulfatos á sulfuros, que se reconocen por la acción que sobre ellos ejercen los ácidos. Puede también hacerse hervir la substancia con una disolución de carbonato alcalino; se filtra, y si hay sulfatos quedarán disueltos, y se precipitarán por una sal soluble de bario.

Determinación de los fluoruros.—Para deducir la presencia de los fluoruros, basta pulverizar la materia y colocarla con ácido sulfúrico en un pequeño crisol de platino, que se cubre con una lámina de vidrio barnizada, en la que se marcan con una punta fina algunos caracteres, de manera que desaparezca el barniz. Se calienta ligeramente el fondo del crisol, y si existe algún fluoruro, se desprende ácido fluorhídrico, lo que se conocerá observando si se ha corroído el vidrio en los puntos no enlucidos.

Algunos fluoruros pueden evidenciarse por un procedimiento todavía más sencillo. No hay más que someterlos á la llama del soplete, con un poco de sal de fósforo (1), en un tubo de vidrio, para ver que el interior de éste se corroe.

(1) En los ensayos con el soplete, se llama *sal de fósforo* al fosfato sódico-amónico. Por la acción del calor se desprenden el amoniaco y el agua de

Ciertos minerales encierran fluoruros que resisten á los ensayos indicados. Para demostrar la presencia del flúor se pulverizan y se calcinan al rojo en un crisol de platino, con tres ó cuatro veces su peso de carbonato de sodio. Se somete la masa á la acción del agua, que disuelve el fluoruro de sodio formado y el exceso de carbonato alcalino; se filtran las partes insolubles y se evapora el líquido en una cápsula de platino. Cuando la disolución está bastante concentrada, se vierte con precaución ácido clorhídrico, para descomponer por completo el carbonato. Una vez desprendido todo el anhidrido carbónico, se introduce el líquido con cloruro de calcio, en un frasco que se pueda cerrar; así se deposita el fluoruro cálcico, que es insoluble. Se filtra cuando ha terminado de precipitarse, y se comprueba si es efectivamente dicho cuerpo, por los métodos explicados en los dos párrafos precedentes.

Cuando los ensayos anteriores demuestren que no hay sulfatos ni fluoruros, es casi seguro que el cuerpo dado es un silicato.

Determinación completa de ácidos y bases.—Verificados los experimentos reseñados, se hace hervir durante algún tiempo, cierta cantidad de la materia previamente pulverizada, con dos ó tres veces su peso de carbonato de sodio disuelto en seis ú ocho partes de agua. Después de diez ó quince minutos de ebullición, se filtra rápidamente. El líquido filtrado, si la materia se puede desagregar por este método, contiene todos los ácidos de la substancia combinados con la sosa, y el examen de su naturaleza se verifica por los métodos ya expuestos. Las materias contenidas en el filtro, serán las bases de la substancia dada, en estado de carbonatos ó hidratos; se disuelven en ácido clorhídrico ó nítrico y se determina la especie de los diferentes óxidos, por los procedimientos explicados para el caso de hallarse disueltos en un ácido. La investigación de los ácidos y de las bases, es tanto más sencilla, cuanto que de los primeros sólo podrán entrar el sulfúrico, el silícico y el fluorhídrico, y de las segundas no se encontrará generalmente más que la cal, y en casos excepcionales, la barita ú otras.

Cuando el cuerpo dado se desagrega enteramente por la ebullición con el carbonato sódico, el ensayo que se acaba de indicar basta para determinar por completo los elementos de que está formada la substancia. Pero cuando no se produce aquel resultado, el compuesto contendrá ordinariamente sílice, y algunas veces, aunque raras, ácido fluorhídrico, pudiendo además encerrar todas las bases que deben considerarse. Entonces es preciso proceder de otra manera. Se calienta al calor rojo la materia dada, finamente pulverizada, y mezclada con tres ó cuatro veces su peso de carbonato alcalino, bárico ó cálcico, según los casos. Si la substancia que se ensaya tiene sílice, se convierte en silicato con exceso de base, que se deja enfriar y se puede disolver en ácido clorhídrico, siempre que la calcinación se haya efectuado en buenas condiciones. Logrado ese objeto, puede verificarse la análisis cualitativa por los métodos indicados. En lo que sigue se expondrán detalladamente las precauciones que deben tomarse en estos ensayos.

esta substancia, y queda una combinación de ácido libre y sal fusible, semejante al bórax en sus propiedades y en las reacciones que produce.

Con lo que antecede, se habrá comprendido la marcha general que ha de seguirse en las análisis cualitativas, y que en la mayoría de los casos podrá abreviarse: las propiedades físicas de los cuerpos, su origen, los ensayos preliminares que se practiquen, los caracteres de los diversos cuerpos estudiados en la Química general, etc., permitirán casi siempre introducir simplificaciones en los procedimientos. Sólo se añadirá que los principiantes conviene que sigan una marcha sistemática, aunque resulten ensayos inútiles, pues de lo contrario pudiera suceder que no advirtieran la existencia de algunos cuerpos.

ANÁLISIS CUANTITATIVAS.

Descritos ya los métodos para reconocer la naturaleza de los elementos que entran en la constitución de un cuerpo, se terminará lo relativo á procedimientos generales, dando una ligera idea de los usados en las análisis cuantitativas.

La dosificación de los cuerpos que forman una substancia, puede hacerse de varias maneras, pero sólo se tratará aquí del método general, *en que se hace uso de la balanza* y de los *ensayos volumétricos*, que si bien no muy generalizados, van adquiriendo de día en día mayor importancia.

DOSIFICACIÓN CON LA BALANZA.

Observaciones sobre el uso de la balanza.—Antes de explicar la marcha que debe seguirse, conviene entrar en algunos detalles relativos al empleo de las balanzas. Conocidas por el curso de Física la forma y disposición de aquellas, bastará indicar que para la mayor parte de las operaciones analíticas que tiene que practicar el Ingeniero, no se requiere un aparato de extraordinaria sensibilidad y precisión, siendo suficiente una balanza que pueda pesar hasta 50 gramos con una aproximación de uno á medio centigramo.

El peso de los cuerpos se determina, en general, por el método de sustitución que, como es sabido, consiste en colocar la substancia que se va á pesar en uno de los platillos; equilibrarla exactamente con pesas ú otros objetos colocados en el otro; quitar entonces el cuerpo, cuyo peso se va á hallar, y reemplazarlo con pesas que equilibren á las materias contenidas en el segundo platillo. Claro es que el peso de aquellas será idéntico al del cuerpo, aun cuando haya alguna desigualdad en la longitud de los brazos de la balanza, puesto que uno y otro se equilibran en las mismas circunstancias.

Como en la mayor parte de los casos se conoce el peso límite de que no deben exceder los cuerpos ensayados, se puede proceder de un modo más sencillo. Supóngase que se trate de pesar en un crisol de platino substancias cuyo peso sea inferior á 10 gramos; se colocará en un platillo de la balanza el crisol y un peso de 10 gramos, y se equilibrará colocando pesas en el otro platillo; si se representa por p el peso de las mismas, es evidente que p servirá de tipo para todas las pesadas que haya que efectuar. En efecto, cuando ocurra pesar una substancia en las condiciones antedichas, no habrá más que disponerla con su crisol en uno de los platillos, añadiéndole el peso que sea necesario para equilibrar al p, colocado previamente en el otro, y es bien claro que el número que se busca estará representado por la diferencia entre 10 gramos y los pesos contenidos en el mismo platillo en que esté la materia.

Lo que antecede supone que los cuerpos que se pesan se colocan siempre en el mismo platillo, condición que no debe olvidarse observar, por lo mucho que facilita las operaciones. También conviene, sobre todo en las análisis delicadas, no poner directamente la substancia sobre el platillo, sino por el intermedio de un vidrio de reloj ó de una cápsula de porcelana ó platino, cuyo peso se haya determinado de antemano.

Cuando se quiera deducir con la mayor rapidez posible el peso de un cuerpo, no se deben colocar de una manera arbitraria las pesas sobre el platillo, sino proceder con orden, ensayando cada vez la mayor pesa de las que aun queden disponibles. Un ejemplo lo hará comprender: si se tiene una pesa de 20 gramos, dos de 10, una de 5, dos de 2 y una de 1, y la substancia alcanza un peso de 58 gramos, se empezará por colocar en el platillo la pesa de 20 gramos, se añadirá en seguida una de 10, y como no bastará para establecer el equilibrio, se colocará inmediatamente la otra de 10: habiendo ya exceso de pesas, se quitará una de las de 10 gramos, reemplazándola con la de 5; se colocará después una de las de 2, y en seguida la segunda del mismo peso; esta última se verá que es excesiva, y entonces se cambiará por la de un gramo, que producirá equilibrio. Si la substancia no pesase un número exacto de gramos, se procedería exactamente de la misma manera al usar las pesas de fracciones de gramo.

En algunas ocasiones hay necesidad de pesas que den partes de gramo, inferiores á las contenidas en la colección, pudiendo prepararlas muy sencillamente. Basta pesar con mucho esmero uno ó dos gramos de alambre muy fino de platino, medir su longitud total y cortarlo por el punto que corresponda al peso que se necesite. Los extremos de estos hilos deben doblarse en gancho, ó bien darles en toda su longitud la forma de espiral, para manejarlos con más facilidad. Hay también que tener cuidado, si se quiere una gran exactitud, de no cogerlos con la mano, sino con pequeñas pinzas, á fin de evitar toda causa que pudiera alterar su peso.

Marcha de las operaciones.—La separación y dosificación de los cuerpos se efectúan en las análisis cuantitativas, provocando, por lo general, dobles descomposiciones mediante reactivos apropiados, que ya se emplean disueltos en el agua, ya en estado sólido, del mismo modo que en las operaciones analíticas cualitativas por las vías húmeda y seca. Los reactivos empleados para las dos especies de aná-

lisis son en gran número de casos los mismos; se comprende, sin embargo, que en varias ocasiones ciertas substancias producirán reacciones que harán reconocibles los elementos de un cuerpo, y no podrán utilizarse para la determinación de las proporciones en que entren, bien porque den lugar á precipitados poco estables, bien por otras diversas circunstancias, que sería largo enumerar.

La separación y dosificación de cada elemento de un cuerpo, se verifica siempre aisladamente de las de los demás, lo que explica que la análisis cuantitativa de una substancia compleja, sea larga y presente á veces serias dificultades.

Ordinariamente, las diferentes operaciones que lleva consigo la dosificación de un cuerpo simple contenido en un compuesto, se hacen en el mismo orden. Se empieza por pulverizar la substancia dada y pesarla con cuidado; se disuelve en seguida, ó después de ciertos preparativos, en el líquido que sea conveniente, y se precipita, por medio de un reactivo adecuado, el cuerpo que se trate de dosificar, combinado con otro ú otros que faciliten la determinación cuantitativa. Se recoge en un filtro el precipitado; se le somete á esmeradas lociones; se seca con el mayor esmero, y se calcina, si necesario fuere. Por último, se pesa el precipitado, viniendo, por simples operaciones aritméticas, en conocimiento de la cantidad del cuerpo correspondiente, que entra en la substancia ensayada. Estas operaciones no ofrecen ninguna dificultad, bastando tener á la vista las fórmulas químicas de los precipitados y de las materias que se vayan á dosificar, así como los pesos atómicos de las substancias elementales. Sólo se apuntan estas ideas, que se explanarán más adelante.

Ciertas separaciones exigen que el cuerpo de que se trata se precipite primero en un estado poco á propósito para la dosificación: entonces se vuelve á disolver el precipitado en un líquido á propósito, y se precipita otra vez el cuerpo, de modo que forme parte de una combinación que se halle en buenas condiciones para el objeto que se desea.

Las breves palabras que anteceden hacen ver que los cuerpos no se dosifican casi nunca en el estado en que se encuentran en la substancia que se examina. Este hecho, que á primera vista parece que lleva consigo inconvenientes y ninguna ventaja, proporciona, no obstante, una que tiene gran interés. En efecto, las análisis se efectúan

así con mayor precisión, puesto que si, por ejemplo, se dosificara directamente el azufre de un sulfuro, las inexactitudes afectarían en su totalidad á aquel cuerpo, al paso que si se dosifica en estado de sulfato bárico, los errores y todas las pérdidas que hayan podido experimentarse y que no hay razón para que sean mayores que en el otro caso, se reparten entre varios elementos extraños y afectan en cantidades mucho menores á la substancia que se dosifica.

Se terminará lo referente á la marcha general de las análisis cuantitativas, recomendando que todos estos ensayos se hagan, lo mismo que los cualitativos, operando con pequeñas cantidades de la substancia que se quiere analizar. Casi siempre bastarán uno ó dos gramos del cuerpo, no debiendo pasar de uno, cuando el mineral contenga hierro ó alúmina, pues los precipitados á que dan lugar son muy voluminosos y su loción sería difícil si se empleasen dosis mayores. En caso que algunos elementos entren en cantidades muy pequeñas en el cuerpo que se ensaya, y se quieran determinar con bastante exactitud, podrán hacerse análisis especiales, en fragmentos de la materia de mayor peso que el antes indicado.

DOSIFICACIÓN POR ENSAYOS VOLUMÉTRICOS.

Los *ensayos volumétricos* que se efectúan con líquidos preparados de composición exactamente conocida, no se empleaban hace algún tiempo más que para determinar el valor comercial de los álcalis y de los cloruros descolorantes; pero hoy día, gracias á los perfeccionamientos introducidos, se van generalizando cada vez más en las operaciones industriales. Algunos ejemplos se presentarán en lo que sigue de las aplicaciones de este método analítico, del que se dará ahora una ligerísima idea, describiendo además los aparatos que requiere.

Fundamento de los métodos volumétricos.—Los líquidos preparados, de que se ha hecho mención en el párrafo anterior, no son más, por lo general, que los reactivos ordinarios disueltos en agua, pero cuyas disoluciones tienen una composición definida con precisión. En las análisis ordinarias, el cuerpo se pone en presencia de un exceso de reactivo, y el precipitado que se forma se recoge en

un filtro, se lava, se seca, se calcina y se pesa; en los ensayos volumétricos, al contrario, no se hace uso más que de la cantidad rigurosamente necesaria de líquido para producir el efecto deseado, deduciéndose la composición del cuerpo, del volumen gastado de reactivo, el cual se mide en un tubo graduado, que en realidad no es más que una probeta.

La volumetría reune las ventajosísimas circunstancias de ser á la vez un método exacto y expedito de análisis, y de evitar las numerosas precipitaciones, filtraciones, lociones, desecaciones, calcinaciones y pesadas, que hacen tan largos y difíciles los procedimientos analíticos ordinarios. El final de la operación está determinado por fenómenos muy aparentes, como formación ó disolución de un precipitado, aparición ó cambio de color, etc., pues los ensayos están fundados en último resultado: 1.°, en la saturación de las bases por los ácidos ó de los ácidos por las bases, lo que da lugar respectivamente á la *alcalimetría* y á la *acidimetría*, acusándose la terminación del ensayo por el cambio de color de la tintura de tornasol; 2.°, en fenómenos de reducción y oxidación, como sucede al dosificar el hierro, en cuyo caso el líquido, que en un principio es incoloro, se enrojece rápidamente por el *camaleón* (permanganato potásico) ó toma un color azul por el yoduro de almidón; 3.°, en precipitaciones, anunciándose entonces el término de la reacción, bien por formarse un precipitado, como acontece en la dosificación de los cianuros, bien por desaparecer éste, como en la de la plata y los cloruros.

Las aparatos indispensables para estas análisis, se reducen á *probetas* y *pipetas graduadas* y *vasijas de saturación*.

Probetas graduadas.—Tienen por objeto medir con exactitud cantidades variables de líquido y permitir la salida de éste, gota á gota, ó en filete continuo. Las hay de formas muy diversas, pero las que se usan con más frecuencia son las debidas á Gay-Lussac y á Mohr.

Probeta de Gay-Lussac.—Está representada en la figura 302, y consiste en un tubo ancho graduado, abierto por un extremo y cerrado por el otro, de cuyo fondo arranca otro tubo mucho más estrecho, en comunicación con el primero, y que sirve para dar salida al líquido por su extremidad encorvada. El origen de la escala está colocado un poco más abajo que el orificio del tubo de salida. Estas probetas tienen, por lo general, una capacidad de unos 50 centímetros cúbicos

y están divididas en 100 partes, ó lo que es lo mismo, en mitades de centímetro cúbico. No se construyen de mayor tamaño, porque serían difíciles de manejar y fatigosa la lectura de la escala, por lo muy próximas que se hallarían las divisiones; para las operaciones que exigen gran esmero, se construyen probetas más pequeñas divididas en décimos de centímetro cúbico.

La manera de hacer uso del aparato no puede ser más sencilla. Se introduce el reactivo en el tubo ancho, de suerte que el plano horizontal tangente al menisco pase por el cero de la escala; se coge el instrumento con la mano derecha y hacia la mitad de su longitud, inclinándolo con precaución sobre la vasija que contenga la substancia que se vaya á dosificar. En virtud de la capilaridad, se eleva rápidamente el líquido por el tubo estrecho y salvando la curvatura en que éste termina, cae gota á gota por el orificio. Se agita la vasija con la mano izquierda y se continúa vertiendo el reactivo, aumentando gradualmente la inclinación del aparato. Cuando el líquido haya producido el efecto que se desea, se coloca la probeta en posición vertical y se anota la cantidad de líquido gastada.

Al principio de la operación, esto es, cuando está llena la probeta, la salida se verifica con rapidez, sucediéndose las gotas sin interrupción; pero al final, quedando ya muy poca cantidad de reactivo, no sale con regularidad. Entonces conviene ver el volumen que se ha consumido y llenar de nuevo la probeta.

Debe recordarse que por los efectos capilares, el nivel del líquido estará siempre más elevado en el tubo estrecho que en el ancho; pero no hay que tener en cuenta más que la altura del reactivo en el último tubo nombrado, porque el fenómeno capilar se produce constantemente en idéntico sentido y causa igual efecto en un mismo tubo.

Probeta de Mohr.—Esta probeta, admitida por Liebig, Vöhler y otros químicos distinguidos, es muy superior á la que antecede. Consiste (fig. 303) en un tubo que se estrecha en su parte inferior, y está dividido en toda su longitud en capacidades iguales, que representan mitades, quintos ó décimos de centímetro cúbico. Á la punta de la probeta va unido un tubo de caucho vulcanizado, cogido hacia la mitad de su longitud por unas pinzas, y terminado en un tubito de vidrio.

Las pinzas (fig. 504) son de alambre de latón templado de $2\ ^1/_2$ á 5 milímetros de diámetro, que se dobla de manera que se obtenga un círculo de 10 á 11 milímetros de radio, extendiendo después los dos extremos del alambre, de modo que estén en contacto y coincidan con la prolongación de un diámetro. Para dar mayor elasticidad al alambre, se golpea con un martillo de boca lisa sobre un yunque pulimentado, hasta que pierda su forma cilíndrica y afecte la plana. Uno de sus extremos se encorva en ángulo recto y termina en un botón; al otro extremo se sueldan dos pedazos del mismo alambre, de suerte que abracen la rama correspondiente; se encorvan también á 90° y se unen á otro botón idéntico al anterior. Cuando se abandonan las pinzas á sí mismas, las dos ramas del anillo están unidas y cierran por completo el tubo de goma elástica; pero si se oprimen con los dedos los botones, se separan las ramas, se abre el tubo y cae el líquido contenido en la probeta: la fig. 505 representa un corte del aparato en esta última posición. Es claro que cuando dejen de oprimirse los botones, las pinzas se cerrarán, en virtud de su elasticidad, sin que haya temor de que los tubos dejen salir la menor cantidad de líquido. La sencilla disposición descrita rivaliza con las mejores llaves para contener líquidos ó gases.

Las probetas de Mohr se colocan en un sustentáculo (fig. 506), de modo que se mantengan verticales y que los botones de las pinzas queden á la derecha, y la escala enfrente del operador.

Para usar el aparato se empieza por verter el líquido hasta por encima del cero, y después se oprimen fuertemente las pinzas, con objeto de determinar la salida de un filete continuo que desaloje el aire, consiguiendo así llenar completamente de reactivo el tubo. Hecho esto, se deja salir el líquido gota á gota, hasta que el plano tangente en el punto más bajo del menisco, enrase exactamente con la división cero.

Estas probetas tienen sobre las de Gay-Lussac las ventajas innegables de la celeridad en las operaciones y del rigor en los resultados. En efecto, se llenan fácilmente hasta el cero, colocando esta división á la altura de la vista, y oprimiendo ligeramente los botones; y el líquido puede permanecer un día entero en el aparato, sin que se altere su nivel. Por otra parte, es fácil hacer que salga sólo una cantidad insignificante de reactivo, por ejemplo, la cuarta parte de una gota, si así fuere necesario, realizando al propio tiempo la ventaja de que no siendo preciso tocar el tubo con la mano, no se calientan los líquidos por esa causa. Por último, estos instrumentos poseen también la circunstancia recomendable de que se les puede dar las dimensiones que requieran los experimentos, haciendo desaparecer el inconveniente de llenar varias veces la probeta en un mismo ensayo.

Se debe tener una probeta de 100 centímetros cúbicos de capacidad, divididos en quintas partes de dicha unidad; dos de 50 centímetros cúbicos de cabida, con idéntica graduación, y otra más estrecha de 25 centímetros cúbicos, divididos en décimos, destinada exclusivamente á operaciones muy delicadas. Las dos probetas de 50 centímetros pueden conservarse colocadas en un mismo sustentáculo.

Probeta de Mangon.—Conviene mencionar la disposición ideada por el Ingeniero Jefe de Puentes y calzadas, Hervé Mangon. En realidad, el aparato se reduce (fig. 507) á una probeta de Gay-Lussac, cuya parte superior comunica con la bola de caucho *a*, por el intermedio del sustentáculo hueco *bb* y del tubo flexible *c*. La bola tiene un pequeño agujero que comunica con el aire exterior. Colocando el dedo sobre el agujero y comprimiendo un poco la bola, claro es que se aumentará la presión en la superficie superior del líquido, el cual saldrá por el extremo del tubo *dd*, pudiendo dirigir el filete á la vasija de saturación *e*. Para interrumpir la salida, bastará evidentemente retirar el dedo, puesto que entonces el aire exterior penetrará en la bola. La introducción del reactivo en la probeta se verifica aproximando el extremo *d* al frasco que contenga el reactivo, comprimiendo la bola, y colocando el dedo encima del agujero hasta que aquella recobre su forma primitiva; así se consigue disminuir la presión en el interior del aparato, y por tanto, determinar la entrada del líquido.

Esta probeta es preferible á la de Gay-Lussac porque se maneja con más facilidad. Puede construirse de bastante longitud, sin que se haga incómoda, admitiendo hasta 400 ó 500 divisiones perfectamente visibles. Su capacidad varía de 10 á 60^{cm^3}.

En las investigaciones delicadas, se hace la lectura en la escala por medio de una pequeña lente.

Probetas destinadas á ensayos especiales.—Cuando se destinan las

probetas exclusivamente á ciertos ensayos especiales, suelen llevar una división particular que permite determinar, sin ninguna operación aritmética, la composición del cuerpo que se examina, ó á lo menos su mayor ó menor pureza. Esto sucede, por ejemplo, en los ensayos hidrotimétricos, de que más adelante se hablará con alguna detención.

Otras veces las divisiones del tubo no representan volúmenes, sino unidades lineales, en cuyo caso se determinan las capacidades ó la composición, con el auxilio de tablas previamente formadas.

Pipetas graduadas.—Sirven para medir con exactitud cantidades de líquido inferiores á 100^{cm^3}. Sus formas (fig. 308) son tan variadas como las de las pipetas ordinarias, distinguiéndose de ellas en una señal grabada en el vidrio, que corresponde á un volumen determinado.

Como en muchos casos hay que extraer los líquidos sin agitación de los frascos que los contienen, debe procurarse que las pipetas sean cilíndricas y de diámetro bastante pequeño para que puedan introducirse por las bocas de las vasijas.

El uso á que se destinan las pipetas exige que se tenga en cuenta el líquido que queda adherido al vidrio después que se han vaciado; por consiguiente, conviene que la determinación del volumen se haga estando húmedo el aparato. La cantidad de líquido que retiene una pipeta, varía con la manera de vaciarla; es mayor cuando la salida se verifica libremente, que cuando se apoya el orificio inferior de la pipeta en la pared húmeda de la vasija ó cuando se introduce aquel en el líquido. De lo dicho se desprende que las pipetas deben usarse en las mismas circunstancias en que se haya determinado su capacidad.

Para tomar con la pipeta el volumen de líquido que corresponde al trazo marcado en el tubo, no hay más que sumergir su extremo inferior en el líquido y aspirar suavemente por su parte superior hasta que aquel suba por encima de la línea de enrase. Entonces se deja de aspirar, y colocando vertical el instrumento, se oprime con el dedo la abertura mayor, dejando salir el líquido gota á gota, hasta que su nivel coincida con la señal.

Vasijas.—La reacción del líquido que se emplea sobre el cuerpo que se va á ensayar, se efectúa generalmente en vasijas cuya capacidad varía de 25 centílitros á un litro. Un vaso ó una copa ordinaria de grandes dimensiones sirven para este objeto.

Por último, un matraz que pueda contener un litro hasta una línea marcada en su cuello, y dos tubos graduados de medio litro y 100^{cm^3} de capacidad, respectivamente, son también muy útiles para los ensayos volumétricos.

ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Conocida la marcha general que debe seguirse, tanto en las análisis cualitativas como en las cuantitativas, se pasará al examen particular de los ensayos de los materiales, cuya composición química conviene conozca el Ingeniero de Caminos. Á este efecto se reseñará el modo de ensayar: 1.°, las *calizas;* 2.°, las *margas;* 3.°, las *cales* y *cementos;* 4.°, los cuerpos en que dominan los silicatos, como *arcillas, ladrillos, puzolanas,* etc.; 5.°, las *tierras vegetales;* 6.°, los *hierros,* y 7.°, las *aguas.*

ENSAYOS DE CALIZAS.

MÉTODO GENERAL.

Elementos que se determinarán.—No hay para qué insistir en la importancia que tiene para el Ingeniero la análisis de las calizas; basta recordar que de la composición de este material, esto es, de la mayor ó menor cantidad de arcilla que encierra, depende el grado de hidraulicidad de la cal obtenida por la cocción del carbonato. Sin embargo, si bien es necesario con frecuencia en el servicio de Obras Públicas determinar con alguna aproximación los principales elementos que constituyen una caliza, rarísima vez ocurre verificar su análisis delicada, por cuya razón bastará estudiar la separación y dosificación de los cuerpos que por lo común se encuentran en aquella substancia. Son éstos: anhidrido carbónico, cal, agua, arcilla (sílice y alúmina), arena, óxido de hierro y magnesia: algunas calizas encierran asimismo óxidos de manganeso, ácido sulfúrico y materias orgánicas, que darán lugar á ligeras indicaciones.

Elementos insolubles en los ácidos.—Se empieza por pesar 2 ó 3 gramos de la caliza que se va á ensayar, previamente pulverizada, y se introduce en una vasija de fondo plano ó en un matraz pequeño, añadiéndole unas 4 veces su peso de ácido nítrico, ó mejor aún de ácido clorhídrico, diluido en 5 ó 7 partes de agua. Se deja reposar la mezcla á la temperatura ordinaria, durante algunas horas, ó bien se calienta un poco para favorecer la disolución de las materias solubles. Si un ensayo preliminar hubiere demostrado la presencia del óxido ferroso (1), se añadirá una gota de ácido nítrico para sobreoxidarlo.

El ácido empleado disuelve la cal, la magnesia, casi todo el óxido de hierro y algunas veces una pequeña porción de la alúmina y de la sílice que componen la arcilla. Se separa por el filtro la materia insoluble de los cuerpos disueltos, se lava con esmero el precipitado obtenido, se seca, se calcina, quemando el filtro, y se pesa, observando, para todas estas operaciones, las prescripciones señaladas en lo que precede.

Separación de la arcilla y la arena.—El residuo insoluble contiene á menudo una cantidad mayor ó menor de arena, que es conveniente aislar. El método más sencillo para conseguirlo consiste en desleir la mezcla en un vaso de agua, imprimiendo al líquido un movimiento rápido de rotación, por medio de una varilla de vidrio. Se deja reposar un instante y se decanta: la arena queda en el fondo del vaso, y la arcilla se mantiene en suspensión en el agua. Se repite dos ó tres veces la misma operación, realizando de este modo, casi con completa exactitud, la separación de la arena y la arcilla. Aquella

(1) Este ensayo preliminar se hace recordando que dos de los caracteres distintivos de las sales ferrosas, son dar con el ferrocianuro de potasio un precipitado blanco, que toma un color azul al absorber el oxígeno del aire, y un precipitado de azul de Turnbull $(Fe^2Cy^{12})\ Fe^3$ con el ferricianuro. Por el contrario, las sales férricas dan un precipitado de azul de Prusia $(FeCy^6)^3\ (Fe^2)^2$ con el ferrocianuro, y no se precipitan con el ferricianuro, que les comunica un color obscuro muy subido. Además, las dos sales pueden distinguirse por el sulfocianato de potasio, $\left.\begin{matrix}K\\Cy\end{matrix}\right\}S$, que no opera cambio en las ferrosas, y produce una intensa coloración roja en las férricas, por la formación del sulfocianato férrico.

se seca y se pesa inmediatamente, y ésta, despues de haberla filtrado ó dejado reposar el líquido para decantar. La suma de los dos pesos obtenidos debe ser sensiblemente igual al del precipitado insoluble que se pesó al principio. Este método mecánico de separación satisface, en general, á las necesidades de la práctica.

Sílice disuelta.—Si el líquido filtrado, reunido al agua empleada en la loción, contiene una cantidad apreciable de sílice, se evapora hasta la sequedad y se trata el residuo con agua ligeramente acidulada; se filtra para recoger la sílice, que se pesa una vez lavada, seca y calcinada.

Alúmina y óxido férrico.—La disolución primitiva, desembarazada ya de la sílice, puede contener hierro, alúmina, cal y magnesia, en unión con el ácido que se haya usado como disolvente.

Se vierte en el líquido, colocado en una vasija de fondo plano, ácido clorhídrico y un ligero exceso de amoniaco, que precipita el óxido férrico y la alúmina en estado de hidratos, sin precipitar la magnesia, puesto que la disolución encierra sales amoniacales. Se hace hervir un instante la mezcla, se filtra y se lava cuidadosamente el precipitado: si no contiene éste más que hierro, se calcina y se pesa; pero si el óxido de hierro y la alúmina entrasen en la composición de la caliza, se separarían por el método explicado al exponer la marcha general de las análisis cualitativas: sobre este asunto se insistirá cuando se describa el ensayo de cales y cementos.

Cal.—El líquido filtrado y el agua proveniente de la loción del precipitado, no contienen ya más que cal y magnesia. Se concentra la disolución, si es demasiado voluminosa, y se le añade un exceso de otra de ácido oxálico ú oxalato amónico, que debe estar concentrada é hirviendo; así se produce un abundante precipitado de oxalato cálcico. Se deja reposar el líquido por espacio de unas doce horas, ó se hace hervir durante veinticinco ó treinta minutos, á fin de facilitar la formación completa del precipitado. Para que la reacción se verifique totalmente, es preciso que la disolución de oxalato amónico contenga un peso de esta sal, doble del de la caliza empleada; con este dato se calcula con la mayor sencillez la cantidad de ácido oxálico que habrá que verter, cuando este cuerpo se use como reactivo. El oxalato cálcico se recoge en un filtro, se lava y se seca con esmero, pero no se deduce de su peso la proporción de cal que entra en el ejem-

plar que se analiza, porque es muy difícil secar bien el oxalato sin descomponerlo en parte. Es, pues, necesario transformarlo en un compuesto de mayor estabilidad.

Varios métodos pueden seguirse. El más expedito consiste en calentar hasta el blanco, durante unos cinco minutos, el oxalato cálcico con su filtro, en un crisolito de platino, cerrado con su tapa, á la llama de un soplete de gas ó una lámpara de Deville. Se convierte así la sal en cal viva (1), que se pesa rápidamente en el mismo crisol cerrado. Se reconoce si la calcinación ha sido completa, y si la cal no contiene nada de anhidrido carbónico, rociándola, después de pesada, con un poco de agua y añadiendo ácido clorhídrico, que debe disolver el producto sin desprendimiento de aquel gas.

Cuando no se puede disponer de un foco calorífico de bastante intensidad para transformar el oxalato en cal viva, se suele cambiar aquel cuerpo en carbonato cálcico. Basta para ello calentar el oxalato en una capsulita de platino hasta el rojo obscuro, dejar que se enfríe la masa, rociarla con una disolución de carbonato amónico y calentarla después á una temperatura poco inferior á la del calor rojo. El empleo del carbonato amónico tiene por objeto carbonatar completamente las porciones de cal viva, que produzca la primera calcinación. Se repite dos ó tres veces el tratamiento por el carbonato de amonio, se pesa después de cada operación la cápsula con su contenido, prosiguiendo hasta que dos pesadas consecutivas den casi el mismo resultado. Este método exige mucho tiempo y práctica, introduciendo siempre mayores errores que el anterior.

Pudiera parecer más natural precipitar la cal en la primera disolución en estado de carbonato, por medio del carbonato amónico, puesto que, en último resultado, el oxalato se tiene que transformar en un compuesto más estable; pero hay que tener en cuenta, que si bien el carbonato amónico precipita la cal, conservando disuelta la magnesia, conduce á resultados menos exactos. En efecto, si el reactivo empleado es el carbonato neutro ó básico, puede precipitarse algo de magnesia, sobre todo si la disolución está concentrada y se prolonga el contacto: si, al contrario, se usa un carbonato amónico ácido

(1) $\left.\begin{matrix} C^2O^{2''} \\ Ca'' \end{matrix}\right\} O^2 = CaO + CO^2 + CO.$

se disolverá toda la magnesia, pero puede disolverse también alguna pequeña cantidad de carbonato cálcico.

Magnesia.—El líquido que se separó del oxalato cálcico, por medio del filtro, no contiene ya más que sales amoniacales, formadas por las dobles descomposiciones sucesivas, y magnesia. Se pueden seguir dos caminos para dosificar esta base.

Redúcese el primero á verter en el líquido fosfato amónico, dejarlo reposar una noche y recoger en un filtro el fosfato amónico-magnésico que se precipita. Lavando, secando y calcinando esta sal se convierte en pirofosfato magnésico (1), que se pesa para venir en conocimiento de la cantidad de magnesia que encierra la caliza.

El segundo camino es algo largo, pero da resultados más exactos que el anterior. Consiste en evaporar el líquido hasta la sequedad con un exceso de carbonato potásico; desalojar las sales amoniacales por el calor, y someter el residuo á la acción del agua que lo disuelve por completo, con la sola excepción de la magnesia, que se puede recoger. Para dosificarla, en estado de óxido, basta secarla, calcinarla y pesarla.

Manganeso.—Algunas calizas contienen óxidos de manganeso. Esta circunstancia se presenta raras veces, pero entonces no puede seguirse el método expuesto, porque el amoniaco precipita parcialmente las sales de manganeso. Para evitar la dificultad, se disuelve la materia en ácido clorhídrico poco enérgico y se separa la arcilla, como en el caso anterior; se añade ácido clorhídrico al líquido filtrado y se neutraliza en seguida con amoniaco: se vierte entonces en la mezcla un exceso de sulfuro amónico, que precipita el hierro, el manganeso y la alúmina, si la caliza contiene todos estos cuerpos. El precipitado se recoge en un filtro, se lava cuidadosamente con agua que contenga un poco de sulfuro amónico, y se vuelve á disolver, en el mismo filtro, en ácido clorhídrico diluído en agua caliente. Obtenida esta disolución pueden separarse los tres óxidos por procedimientos que se describen en los tratados completos de Química

(1) $$2\left[PO'''\left\{\begin{matrix}ONH^4\\ \left.\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}Mg''\end{matrix}\right.\right] = \begin{matrix}PO'''\left\{\begin{matrix}\left.\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}Mg''\end{matrix}\right.\\ O\\ PO'''\left\{\begin{matrix}\left.\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}Mg''\end{matrix}\right.\end{matrix} + 2NH^3 + H^2O.$$

analítica y que no se darán aquí á conocer, tanto porque no dejan de ser complicados, cuanto porque la mayor parte de los experimentos que el Ingeniero tiene que practicar no exigen la determinación rigurosa del manganeso, que sólo se reconoce cualitativamente y se deja mezclado con el hierro, al que se asemeja mucho por las reacciones que produce: ambos metales se separan de la alúmina siguiendo los procedimientos que se explicarán para el caso de que en la mezcla sólo entren hierro y alúmina.

En cuanto al líquido desembarazado ya del hierro, del manganeso y de la alúmina por la operación precedente, se le hace hervir hasta que no desprenda hidrógeno sulfurado, y se filtra para separarle del azufre que haya podido quedar aislado. Como el azufre está en extremo dividido, hay que repetir la ebullición y la filtración cuantas veces sea necesario hasta obtener un líquido perfectamente claro. En seguida se deducen las cantidades de cal y magnesia por los métodos ya expuestos.

Claro es que la precipitación del hierro y de la alúmina puede hacerse por medio del sulfuro amónico, aun cuando la caliza no contenga manganeso. Aquel reactivo se emplea, en efecto, en la práctica con tanta ó más frecuencia que el amoniaco, á fin de evitar los ensayos previos para determinar si existe manganeso en la substancia que se trata de ensayar.

Sulfato cálcico.—Ciertas calizas suelen contener también ácido sulfúrico, por lo general, en estado de sulfato de calcio, y conviene determinar la proporción en que entra esta sal. Como existe de ordinario en dosis muy pequeñas, es preciso operar en una masa algo considerable de la substancia para obtener una valuación aproximada. Al efecto se pulverizan con esmero 15 ó 20 gramos de la caliza, que se abandonan á la acción del agua destilada, por espacio de algunos días, sirviéndose para este objeto de un matraz grande, que se agita con frecuencia. Se decanta, y el residuo se deja dos ó tres días más en el agua; se filtra y se conserva la materia insoluble. Se evaporan las dos porciones de líquido, obtenidas respectivamente por decantación y filtración, y si la segunda deja todavía residuo apreciable, no habrá seguridad de haber disuelto todo el sulfato cálcico; en este caso, es preciso tratar de nuevo por el agua la materia insoluble que se recogió; filtrar al cabo de dos ó tres días, y evaporar el

líquido, añadiendo el residuo á los dos precedentes. Si el último fuere todavía apreciable, sería necesario repetir la operación, que se continúa hasta obtener un líquido cuya evaporación produzca un residuo insignificante. El cuerpo sólido, resultado de estas diversas operaciones, no será otra cosa más que el sulfato cálcico contenido en la caliza, que puede pesarse después de calcinado.

La dosificación del ácido sulfúrico puede efectuarse también por medio de una desagregación. Los 15 ó 20 gramos de caliza pulverizada, se ponen en contacto, por espacio de dos horas, con una disolución hirviente de carbonato potásico ó sódico. Se filtra y se lava con cuidado el residuo insoluble; se vierte en el líquido filtrado un ligero exceso de ácido clorhídrico ó nítrico, y después una sal soluble de bario, hasta que no se forme precipitado. Se recoge el sulfato bárico producido, se lava con agua caliente, se calcina y se pesa; el número así hallado hará conocer la proporción de ácido sulfúrico y la de sulfato cálcico correspondiente.

Si cualquiera de estos procedimientos indica sólo ligeros vestigios de sulfato de calcio, se puede efectuar la determinación de todos los cuerpos, en un trozo de la caliza propuesta; en caso contrario, se operará en la materia insoluble en el agua, ó en el líquido filtrado después de tratar por el carbonato alcalino, según el método que se haya seguido para dosificar el ácido sulfúrico.

Agua y anhidrido carbónico.—Las indicaciones precedentes permiten determinar las cantidades de arena, arcilla, alúmina, óxido de hierro, cal y magnesia que entran en la composición de la caliza propuesta, así como también el ácido sulfúrico que puede encerrar. Resta hallar las proporciones de agua y de anhidrido carbónico. Esta última podrá determinarse, por lo general, calculando la cantidad de anhidrido necesaria para saturar les pesos de cal y magnesia deducidos; en cuyo caso, la proporción de agua será la diferencia entre el peso de la caliza y el de todos sus otros elementos. Fácil es, sin embargo, comprender la poca exactitud de este método, pues que en los resultados influirían los errores cometidos en las operaciones que anteceden, cuya entidad no se puede prever. Por otra parte, la valuación directa del agua y del anhidrido carbónico que contiene la caliza, debe siempre llevarse á cabo, porque proporciona una comprobación útil, y en ciertas circunstancias, cuando se proce-

de con esmero, puede, hasta cierto punto, reemplazar á una análisis más completa.

Se expondrán varios métodos para hacer estas dosificaciones.

Determinación directa de las dos substancias reunidas.—En los ensayos de calizas, no se hace generalmente, después de ejecutadas las operaciones anteriores, más que someter una nueva parte de la materia á una fuerte calcinación. Á este efecto, se pesa con cuidado un crisolito de platino con su tapa, en el que se introducen dos ó tres gramos de caliza pulverizada. Se calienta á la llama de un mechero de gas ó de la lámpara de Deville, ó bien en un hornillo ordinario, encerrándolo previamente en otro crisol de barro, tapado también. Se deja enfriar y se pesa de nuevo con la materia que contiene y sin destaparlo: si la calcinación se ha prolongado bastante, no debe observarse efervescencia, cuando se vierta un poco de ácido clorhídrico sobre la substancia mezclada con algunos gramos de agua.

La pérdida de peso ocasionada por la calcinación, que desaloja al agua y al anhidrido carbónico, debe ser sensiblemente igual á la suma de los pesos de ácido y agua, determinados aquel por el cálculo y éste por la substracción antes indicada. Cuando la diferencia entre ambos guarismos pase de uno ó dos centigramos, puede asegurarse que se han cometido en la análisis errores superiores á los inherentes á los métodos expuestos.

Dosificación directa del anhidrido carbónico.—Por el procedimiento explicado, se determina la suma de las proporciones de agua y anhidrido carbónico que contiene la caliza ensayada, y por consiguiente, se hace posible una comprobación de la análisis por vía húmeda, pero no la obtención directa de los pesos de aquellas substancias, que muchas veces conviene deducir, y que siempre proporcionan verificaciones más exactas del conjunto de la operación. Para conseguir este objeto, se expondrán dos métodos de dosificación directa del anhidrido carbónico.

1.° El Ingeniero Mangon, tantas veces citado, recomienda el siguiente sistema, que ha producido excelentes resultados en el laboratorio de la Escuela de Puentes y calzadas. En un frasquito de boca ancha y de 35 á 40^{cm^3} de capacidad, se introducen 4 ó 5 gramos de ácido clorhídrico concentrado, mezclado con un poco de agua, que puede variar de 10 á 15 gramos. Se cierra perfectamente la boca del

frasco con un tapón, que tenga algunos agujeros rodeados de papel de filtros, y se determina con la mayor exactitud posible el peso del aparato así dispuesto, que, en general, no pasa de 40 á 45 gramos. Se pesan con igual esmero 2 gramos de la caliza, que se introducen en el frasco, teniendo cuidado de volverlo á tapar en seguida. El ácido clorhídrico descompone la caliza, y el anhidrido carbónico se desprende, pasando á través de los agujeros del corcho y de los pliegues del papel, que retienen toda el agua que el gas pueda arrastrar mecánicamente. Cuando cesa por completo la efervescencia, se agita el frasco repetidas veces y se sopla dentro del aparato, por medio de un tubo terminado en punta, que se mete por uno de los agujeros del tapón, á fin de desalojar los últimos residuos de anhidrido carbónico; se pesa de nuevo el frasco, en el estado en que se encuentra, y restando de su peso primitivo, aumentado en el de la caliza, el obtenido en la segunda pesada, se deducirá el peso de anhidrido carbónico encerrado en 2 gramos de la caliza propuesta. El guarismo calculado de esta manera tiene que corregirse algún tanto, porque el anhidrido carbónico arrastra una cantidad de vapor de agua, tanto más considerable, cuanto más elevada es la temperatura, y por consiguiente, la pérdida observada es superior al peso real del anhidrido carbónico, en una cantidad representada por el peso de dicho vapor de agua. Tanto los experimentos como el cálculo indican que se obtienen resultados bastante exactos, multiplicando la pérdida deducida, por el coeficiente de la tabla siguiente, que corresponda á la temperatura á que se haya verificado el ensayo:

Temperaturas en grados centígrados.	Coeficientes de corrección.
5°	0,996
10°	0,994
15°	0,991
20°	0,987
25°	0,983

Cuando se tenga una balanza que pueda pesar con precisión un peso más considerable que el que se ha admitido como límite, se debe emplear mayor cantidad de caliza que la indicada. Finalmente, si no se dispusiera más que de una balanza ordinaria del comercio, que

dé el peso de 500 ó 600 gramos, con aproximación de una ó media unidad, se podrían obtener resultados prácticos muy convenientes en algunos casos, por ejemplo, en los ensayos de margas, descomponiendo unos 100 gramos de caliza en una vasija de capacidad proporcionada.

2.° El método anterior, con las precauciones y la corrección que se han indicado, produce resultados bastante exactos en los ensayos ordinarios. Cuando se trate de análisis más delicadas, se hace la dosificación de una manera algo diferente, que exige el empleo de una balanza susceptible de pesar 100 gramos, con aproximación de uno ó dos miligramos.

El aparato que se usa está representado en la figura 509. Se coloca la caliza en el frasco *A*, y en el tubo *B* el ácido nítrico, que ha de producir la descomposición de los carbonatos. Un tubo encorvado, que llega hasta el fondo del *B*, pone á éste en comunicación con el frasco; *C* es un tubo lleno de fragmentos de cloruro de calcio fundido, y al *B* se adapta otro tubo *E*, que presenta un ensanchamiento. Después de haber pesado exactamente el aparato con el ácido y la caliza, se aspira ligeramente por el tubo *D*, hasta que pase al frasco *A* un poco de ácido, dando en seguida al instrumento una inclinación conveniente para determinar la salida regular del líquido y su introducción en *A*. El ácido nítrico desaloja al gas carbónico, que pierde su humedad al atravesar el tubo *C*; se continúa la operación hasta que todo el reactivo haya pasado al frasco que contiene la caliza. Cuando cesa la efervescencia, se calienta muy ligeramente la capacidad *A* para que termine la reacción, y es claro que soplando por *E* se expulsará al anhidrido carbónico, que abandonará, antes de salir por *D*, la humedad que pudiera arrastrar. Al cabo de media hora se vuelve á pesar el aparato, tal cual se halla, y es evidente que restando su peso del que al principio se encontró, se vendrá en conocimiento de la cantidad de anhidrido carbónico que entra en el peso empleado de caliza. No hay necesidad de advertir que este último debe determinarse de antemano.

El aparato descrito tiene un peso de 50 á 60 gramos, y permite dosificar el anhidrido carbónico con bastante exactitud. Se han construído muchos instrumentos con igual objeto y fundados en el mismo principio, pero no es preciso insistir en este punto.

La pérdida por calcinación da á conocer el peso del agua y del anhidrido carbónico de la caliza. Restando de este guarismo el que represente el peso del ácido, deducido por uno de los dos métodos, se obtendrá la proporción de agua y materias volátiles, con toda la precisión que se puede apetecer.

Piritas.—Se terminará lo relativo al método general de ensayo de calizas por la vía húmeda, haciendo una observación que no deja de tener alguna importancia. En las operaciones analíticas hay que distinguir dos clases de calizas: las *no bituminosas,* que no contienen cantidades apreciables de materias orgánicas, y las *bituminosas,* que están en el caso contrario. Las primeras encierran algunas veces piritas, pero se presentan en nódulos, que se pueden separar con facilidad y que se cuida de no introducir en los hornos de calcinación: su análisis se hace exactamente por los métodos ya descritos.

Las bituminosas deben ensayarse de una manera algo distinta. Hállanse en ellas casi siempre piritas de hierro, diseminadas en granos tan pequeños, que no pueden reconocerse ni con el auxilio de una lente. Esas piritas perjudican á la calidad de las cales hidráulicas, por el sulfato cálcico que originan en la cochura. Ningún interés presenta la valuación de las proporciones de piritas, pero sí lo tiene la del sulfato que contendrá la cal. Para determinarla, se somete á una calcinación la caliza bituminosa y se dosifica el sulfato producido. Claro es que la calcinación en una atmósfera muy oxidante y efectuada en un peso muy exiguo de materia (10 ó 15 gramos), no producirá el mismo efecto que la cocción en los hornos ordinarios, y dará lugar á mayor cantidad de sulfato; pero preciso es contentarse con el resultado que se obtenga, dada la imposibilidad de realizar en el laboratorio las condiciones de la práctica.

La calcinación debe llevarse á cabo con lentitud, á una temperatura poco superior á la del rojo obscuro, la cual es suficiente para la descomposición de las materias orgánicas y la total oxidación del azufre.

El ácido sulfúrico, y por consiguiente, el sulfato cálcico, se dosifica por uno de los métodos explicados en párrafos anteriores. Obtenido el guarismo que expresa la cantidad de sulfato cálcico, no es posible darle una interpretación absoluta, pues no existen suficientes datos para precisar el límite de la proporción de la referida sal que puede

admitirse en una cal hidráulica. Tan sólo cabe asegurar que una cal es peor que otra, cuyos resultados se conocen experimentalmente, cuando la primera contiene más sulfato cálcico que la segunda.

Efectuada la operación anterior, conviene proceder á la determinación de los óxidos básicos é indiferentes, operando con el producto de la calcinación, pues la presencia de las piritas suele introducir grandes dificultades. En cuanto al anhidrido carbónico y al agua, pueden deducirse directamente por los métodos explicados.

MÉTODOS ABREVIADOS PARA EL ENSAYO DE CALIZAS.

Las calizas que contienen, además de arcilla y carbonato cálcico, alúmina soluble en los ácidos diluídos, hierro y magnesia, en dosis más ó menos considerables, tienen que ensayarse forzosamente, por los procedimientos largos y algo difíciles que se han dado á conocer. Pero cuando la análisis cualitativa sólo acuse en el material de que se trate, cantidades insignificantes de hierro y magnesia, como ocurre con frecuencia en la práctica, se pueden simplificar mucho los métodos ordinarios de análisis, reduciéndolos á operaciones tan sencillas, que es casi imposible no llevarlas á cabo de un modo conveniente.

Se describirán algunos de estos métodos expeditos, que no son aplicables, según acaba de indicarse, más que á las calizas compuestas de carbonato cálcico y de arcilla ó arena, y que no contienen proporciones notables de hierro y magnesia.

Ensayos ordinarios.—Las cantidades de arcilla ó arena y de carbonato de una caliza, se obtienen con gran rapidez, determinando, como antes se dijo, las dosis de agua y anhidrido carbónico que encierra; basta, en efecto, multiplicar el peso del anhidrido carbónico por $\frac{100}{44} = 2{,}27$, para obtener el del carbonato cálcico correspondiente. Añadiendo á este producto el peso del agua, y restando la suma del de la materia ensayada, se deducirá el peso de la arcilla y la arena, cuyas substancias pueden separarse por levigación.

La dosificación del carbonato cálcico de una caliza puede también determinarse por otro medio, que sólo exige el empleo de un reactivo.

Se hace una mezcla de una parte de ácido clorhídrico con dos de agua, y se conserva para el uso en frascos bien tapados. Antes de emplearla en los ensayos, hay que determinar de una manera exacta su energía: á este fin, se miden en una pipeta 50^{cm^3} de la mezcla, cuyo volumen se pone en contacto con un pedazo de mármol blanco muy puro, de un peso P, superior á 10 gramos. Cuando ha terminado la acción del ácido sobre el carbonato, se saca el pedazo de mármol, que se pesa después de lavado y perfectamente seco. Sea p su peso; $P - p = \pi$, representará la cantidad de caliza pura que puede descomponer un volumen de 50 centímetros cúbicos del ácido que va á servir de reactivo. Conocida dicha cantidad, puede procederse de la manera siguiente al ensayo de una caliza arcillosa.

Se colocan en un vaso 50^{cm^3} del ácido, se echa agua, y se añade un peso π de la caliza que se va á ensayar; esto es, un peso igual á la cantidad de carbonato cálcico puro, que descompone el volumen de ácido empleado. Cuando haya cesado la efervescencia debida al desprendimiento de anhidrido carbónico, y cuando parezca que el ácido no ejerce ya acción sobre la materia, se sumerge en la vasija un peso conocido de mármol blanco, haciendo que el líquido obre, hasta que deje de atacar al mármol. En seguida se lava y se seca éste, pesándolo después. Si π' representa la pérdida que ha experimentado en su peso, claro es, según las notaciones adoptadas, que la caliza contendrá $\pi - \pi'$ de carbonato cálcico, y una cantidad de materias inertes y agua, igual á π'.

Ensayos volumétricos.—Los dos métodos anteriores no exigen, como los procedimientos analíticos propiamente dichos, filtraciones numerosas, desecaciones, etc., pero requieren muchas pesadas y no pueden aplicarse más que á calizas compuestas casi exclusivamente de carbonato cálcico y arcilla. Los ensayos volumétricos son mucho más generales y no necesitan más que una pesada. Cuando este sistema de análisis haya recibido los perfeccionamientos que aún le faltan, reunirá á una exactitud suficiente para la práctica, la facilidad de ejecución indispensable en las aplicaciones industriales; pero puede ya desde luego reemplazar ventajosamente á los anteriores y prestar servicios importantes.

Preparación de reactivos.—Se indicará ante todo la preparación del *sacarato cálcico*, reactivo que no sólo se usa en estos ensayos, sino en

otros que se estudiarán más adelante. La cal apagada que, como se sabe, es muy poco soluble en agua pura, se disuelve, al contrario, con gran facilidad en agua azucarada, formando un sacarato que, en la mayor parte de los casos, ejerce las mismas reacciones que una disolución de cal sola. Para preparar la de sacarato de calcio, se apaga cuidadosamente una parte de cal grasa, que se mezcla después de su enfriamiento, con una cantidad de agua suficiente para formar una lechada muy clara; se disuelven por separado 5 partes de azúcar muy blanca, ó mejor de *azúcar cande*, en 20 de agua, cuya disolución se vierte poco á poco sobre la lechada, agitando la mezcla sin cesar, pero sin calentarla: se dejan en contacto las materias, en una vasija tapada, por espacio de siete ú ocho horas, removiéndolas de cuando en cuando, y en seguida se filtra para separar el exceso de cal y las materias insolubles. El líquido filtrado, que debe ser límpido é incoloro ó ligeramente amarillento, se conserva en frascos bien tapados.

Se prepara además una mezcla de una parte de ácido clorhídrico concentrado y cuatro de agua, determinando, por el método ya conocido, el peso π de carbonato cálcico puro, que pueden disolver 25^{cm^3} de este ácido diluído, que se conserva para el uso en un frasco con tapón esmerilado.

Queda aún por determinar la acción ó energía del sacarato de calcio. Para ello se toman en una pipeta 25^{cm^3} de ácido clorhídrico normal, que se diluyen en tres ó cuatro veces su peso de agua, y se introducen en una vasija de saturación, con un poco de tintura azul de tornasol, que inmediatamente se enrojece. Se llena en seguida la probeta de sacarato cálcico, que se vierte gota á gota sobre el ácido hasta que el tinte rosado del líquido se convierta en azul. Supóngase que N sea el número de divisiones de la probeta, que representa el volumen de sacarato necesario para conseguir ese resultado; claro es que en las N divisiones habrá la misma cantidad de cal que en el peso π de carbonato cálcico puro, y por consiguiente, que cada división representará un peso $\frac{\pi}{N}$ de dicha sal. Conviene que la disolución de sacarato esté bastante diluída para que N sea igual á unas 400 divisiones de la probeta.

La preparación del sacarato cálcico y de la disolución de ácido clorhídrico se hace de una vez para una serie completa de ensayos, y

no presenta dificultad alguna. También pueden encargarse ambos líquidos á una fábrica cualquiera de productos químicos, haciendo las indicaciones numéricas que preceden.

Modo de verificar el ensayo.—El ensayo de una caliza es sencillísimo. Se toma un peso π de la substancia, igual al necesario para la saturación de 25^{cm^3} de ácido normal, y se pone en contacto con este volumen de ácido. Cuando ha terminado el desprendimiento de anhidrido carbónico, se añade á la disolución tres ó cuatro veces su volumen de agua y un poco de tintura azul de tornasol. Si la caliza propuesta no contuviera más que carbonato cálcico, el ácido clorhídrico se saturaría exactamente, y el reactivo orgánico no se enrojecería; mas como se supone que la caliza es arcillosa, parte del ácido quedará libre, después de atacar al material que se ensaya, y enrojecerá la tintura. Se vierte entonces sobre el líquido, con la probeta, sacarato de calcio, hasta que dicha tintura recobre su color primitivo. Representando por n el número de divisiones que en la probeta ocupaba el sacarato vertido, hasta llegar á ese resultado, es evidente que el peso de carbonato cálcico contenido en el π de caliza, será $\pi \frac{N - n}{N}$. En la práctica se procura por la adición al ácido y al sacarato, de proporciones convenientes de agua, que $\frac{\pi}{N}$ sea un número entero y pequeño de centigramos de carbonato de calcio, de suerte que el cálculo de la expresión $\pi \frac{N - n}{N}$ se pueda hacer de memoria. También cabría establecer en la probeta una división especial, cuya lectura diese desde luego la cantidad de carbonato cálcico puro, contenido en la materia ensayada. Una vez hallado el peso del carbonato, por diferencia se obtiene el del agua y la arcilla, que se podrían separar, si fuere necesario, por los métodos generales.

Se ha supuesto que se emplee la cantidad de ácido estrictamente necesaria para disolver el peso de caliza, puesto en contacto con él. Conviene, para que el experimento sea más rápido, hacer uso de un exceso de ácido; así en el caso que se ha considerado, se verterían sobre la caliza 50^{cm^3} de ácido, volumen doble del antes indicado, y no se tendría en cuenta en el cálculo que antecede, más volumen de

sacarato que el exceso sobre el que se haya necesitado para saturar los 25^{cm^3} que se han vertido de más, á fin de activar la disolución de la caliza. Para aclarar la cuestión, supóngase que N' sea el número de divisiones de la probeta, que mide el volumen de sacarato consumido; ese guarismo tiene que ser mayor que N, puesto que N divisiones se emplean en saturar el exceso de 25^{cm^3}. La cantidad que antes se designaba por n, será ahora $N' - N$, y por tanto, el peso de carbonato cálcico, contenido en el π de caliza, vendrá dado por $\pi \frac{2N - N'}{N}$.

Por la volumetría pueden también deducirse directamente y con bastante sencillez las dosis de hierro y magnesia; la determinación del hierro se explicará en lo sucesivo, y en cuanto á la de la magnesia no ofrece suficiente interés para entrar en su examen.

ENSAYOS DE MARGAS.

Se dirán algunas palabras acerca del ensayo de margas, porque la importancia que estos cuerpos tienen en la agricultura, hace que no deban prescindir de su estudio los ingenieros encargados de servicios hidrológicos.

Ensayos que conviene practicar.—La marga es una mezcla de carbonato cálcico, de arcilla más ó menos arenosa, de óxidos de hierro y de algunas otras substancias, en proporciones relativamente pequeñas. Las margas de buena calidad se desagregan por la acción del aire y la humedad, reduciéndose á polvo impalpable; las de calidad inferior contienen arena ó núcleos calizos, sin acción química inmediata sobre el terreno. Consideradas estas substancias como abono agrícola, puede decirse que son tanto mejores, á igualdad de las demás condiciones, cuanta menor cantidad contengan de materias inertes y cuanto más abundante sea la dosis de carbonato cálcico encerrado en la parte susceptible de desagregarse. En otros términos, y á menos que circunstancias especiales modifiquen la regla, el valor de una marga está en razón inversa de la cantidad de materias inertes que entre en su composición y en razón directa del

carbonato cálcico que contengan las partes susceptibles de desagregarse por la acción atmosférica.

De lo dicho se desprende, que el ensayo de una marga se compone de dos operaciones distintas: la análisis química del cuerpo, y la determinación por un procedimiento mecánico, de la proporción en que están las partes desagregables por el aire.

Análisis química.—Por lo que antecede se ve que las margas son verdaderas calizas, de una constitución física particular, y por consiguiente, que su análisis debe hacerse siguiendo las indicaciones que para aquellos materiales se han explicado.

Cuando la marga contiene hierro y magnesia, lo que sucede con frecuencia, y se quieren deducir las proporciones de esas substancias, es preciso recurrir al método general de análisis, expuesto precedentemente. En los ensayos que requieren mucho esmero, se debe también determinar si la marga contiene fosfatos, que desempeñan papel importante en la alimentación vegetal: al exponer los procedimientos de análisis cualitativa, se dieron á conocer bastantes medios para investigar la presencia del ácido fosfórico, y en cuanto á su dosificación, que es muy delicada, nada se dirá porque no es fácil que tenga que efectuarla el Ingeniero de Caminos.

En los ensayos de estas substancias, conviene además hacer hervir en una disolución de potasa algunos gramos de marga, y deducir las proporciones de sílice y alúmina disueltas en aquel reactivo. Las margas que abandonan á la potasa cantidad considerable de dichos cuerpos, pueden ser extraordinariamente útiles en los terrenos escasos en sílice, y en el cultivo de ciertas plantas que absorben aquellos elementos en grandes dosis para la formación de sus tejidos.

Hay margas que encierran algunas milésimas de nitrógeno; se puede dosificar este metaloide por una análisis orgánica, de la que nada se dirá, porque no tiene cabida dentro de los límites de esta obra.

En general, en los ensayos prácticos y repetidos de margas de la misma localidad ó de localidades próximas, extraídas de bancos diferentes, no se hace más que determinar las proporciones de carbonato cálcico contenido en la masa; todos los métodos expeditos que se han explicado son entonces aplicables, pero en especial los ensayos volumétricos.

Determinación de la cantidad de materias inertes.

—La determinación de la cantidad de arena y núcleos inertes de una marga, se hace por levigación. Al efecto, se coloca en una vasija de vidrio ó de barro de forma á propósito, 1 kilogramo, por lo menos, de la marga que se va á ensayar, mezclada con cierta cantidad de agua, y se tiene en reposo, por espacio de una hora. Pasado este tiempo, se agita vivamente, se deja reposar de nuevo algunos minutos y se decanta el líquido, repitiéndose la operación cinco ó seis veces hasta que el agua salga clara. Las partes finas de la marga, que constituyen, por lo común, la masa desagregable, son arrastradas, y las materias inertes, que quedan en el fondo de la vasija, se pesan después de secas. Abandonadas á sí mismas las aguas provenientes de las decantaciones, depositan al cabo de algunas horas, en forma de fango muy fino, las substancias que tenían en suspensión: para examinarlas ó verificar su análisis, se filtran y se procede como antes se ha indicado.

ENSAYOS DE CALES Y CEMENTOS.

La calcinación de las calizas hace solubles en los ácidos los elementos de la arcilla que contienen, circunstancia que introduce algunas modificaciones en el método descrito para la análisis de aquellas.

Dosificación de la sílice.—Se pesan 2 gramos de la cal ó cemento que se quiere ensayar, y se colocan en una cápsula de porcelana; se vierten 6 ú 8 gramos de agua, y se añaden 15 ó 20 de ácido clorhídrico. La disolución se verifica en general fácilmente, bien á la temperatura ordinaria, bien calentando con precaución. Se evapora el líquido hasta la sequedad, procurando con el mayor cuidado evitar las proyecciones. Se hace enfriar la masa y se echa de nuevo un poco de ácido clorhídrico; se evapora segunda vez, agitando sin cesar, y se calienta casi hasta el rojo la materia sólida: estas precauciones son indispensables para que no se disuelva nada de sílice en el ácido y pueda recogerse, como en seguida se verá. El producto de la evaporación se deja enfriar, y se trata después por ácido clorhídrico poco enérgico; se hace hervir algunos instantes la mezcla y se filtra. La sílice, enteramente blanca, queda en el filtro, se lava con cuidado, se calcina y se pesa; pero hay que tener en cuenta que con

la sílice puede haberse recogido alguna pequeña cantidad de alúmina, y que es preciso asegurarse de la pureza del ácido obtenido. Para ello, se puede operar por vía seca: la sílice pura forma un botón transparente con la sosa y permanece intacta si se calienta á la llama del soplete con un glóbulo de sal de fósforo: estas dos propiedades bastan casi siempre para reconocer la pureza del anhidrido silícico; mas, en el caso actual, presentan el inconveniente de que pueden no acusar la presencia de un 10 por 100 de alúmina. En los ensayos que requieran gran exactitud, conviene, pues, aplicar uno de los dos procedimientos siguientes: 1.° Mezclar el precipitado con cuatro ó cinco veces su peso de carbonato de potasio y calentar la masa al rojo; añadir ácido clorhídrico á la materia fundida, evaporar hasta la sequedad y tratar el residuo por agua, que no disuelve la sílice y sí las sales alcalinas y de aluminio; se filtra y se añade amoniaco á la disolución, cuyo reactivo producirá un precipitado blanco de alúmina, siempre que éntre este óxido en el compuesto sometido al ensayo. 2.° Si la sílice no es pura y contiene alguna alúmina, puede reconocerse calentando el cuerpo á la llama del soplete con nitrato de cobalto, que le comunicaría un color azulado si hubiere alúmina. Este segundo método es mucho más expedito que el primero, pero tiene el inconveniente de que, si efectivamente acusa la presencia del referido óxido, hay que recurrir al primer ensayo para separar por completo la sílice.

Dosificación de la alúmina y el óxido de hierro.—Para proseguir la análisis, se supondrá separada ya y dosificada la sílice; el líquido filtrado contendrá la cal, la magnesia, la alúmina y el óxido de hierro. Se añade un poco de ácido clorhídrico y después un ligero exceso de amoniaco; se hace hervir la mezcla para reunir el precipitado y desalojar el exceso de álcali volátil, y se filtra. La alúmina y el óxido férrico quedan en el filtro; la loción se hace con agua caliente, y es una operación muy larga y que exige gran esmero y paciencia. La separación de la alúmina y del hierro que están mezclados en el filtro, puede hacerse de muchas maneras, entre las que se indicarán las dos más comunes, según que se proceda por el sistema ordinario ó por ensayos volumétricos.

Primer método.—Se vierte sobre el filtro que contiene los dos óxidos, en estado gelatinoso, un poco de ácido clorhídrico débil, que disuelve completamente el precipitado. Se recoge la disolución así obtenida, y se lava con cuidado el filtro, reuniendo á aquella el agua proveniente de esta operación. La mezcla formada de cloruros de hierro y aluminio, se trata por un ligero exceso de amoniaco, que precipita de nuevo los dos metales en estado de hidratos, y en seguida se somete á una ebullición prolongada, con un exceso de disolución de potasa cáustica pura. La alúmina no tarda en volver á disolverse en el líquido potásico, formando un aluminato alcalino, y el color del precipitado, que no contiene ya más que hidrato férrico, es pardo leonado. Se recoge el precipitado en un filtro y se lava con el mayor esmero con agua caliente; inmediatamente se seca, se calcina quemando el filtro y se pesa, obteniendo, por tanto, la cantidad buscada de anhidrido férrico.

El líquido filtrado, juntamente con el agua de las lociones, se sobresatura de ácido clorhídrico y se precipita la alúmina por el amoniaco ó el carbonato amónico. Se filtra y se pesa el precipitado, después de lavarlo, secarlo y calcinarlo con las precauciones ordinarias.

Cuando la proporción relativa de hierro en la mezcla pasa de una centésima, no basta verificar una sola vez la operación que se acaba de describir para desalojar toda la alúmina. El precipitado de óxido férrico, bien lavado, se tiene que disolver de nuevo en ácido clorhídrico diluído, repitiendo el ensayo anterior. En el líquido filtrado, después de tratar por la potasa, se encuentra ordinariamente una cantidad apreciable de alúmina, que se precipita como ya se ha dicho. Para conseguir una separación completa, se necesita á menudo repetir la operación tres ó cuatro veces.

El óxido férrico recogido, contiene casi siempre un poco de potasa, que es punto menos que imposible hacer desaparecer por medio de lociones. En las análisis delicadas conviene, por consiguiente, disolver el óxido de hierro obtenido en ácido clorhídrico, y precipitarlo, en el mismo estado de hidrato férrico, por el amoniaco.

Segundo método.—Se puede dosificar el hierro en una mezcla de alúmina y óxido férrico, de manera muy rápida, por un ensayo volumétrico. Este procedimiento es cómodo y suficientemente exacto para casi todas las análisis relativas á materiales de construcción. Se funda en la propiedad que tienen las sales ferrosas, en presencia de un exceso de ácido, de descomponer instantáneamente la disolución

de permanganato potásico, que es de color rojo muy vivo. El ácido de la sal se resuelve en óxido manganoso y en oxígeno, que hace pasar al óxido ferroso al máximo de oxidación, transformándose el permanganato en una sal potásica y en otra manganosa. Para fijar las ideas, suponiendo que el ácido sulfúrico sea el elemento electro-negativo de la sal que se considere, la reacción que se verificará será la siguiente:

$$10\left[\left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ Fe'' \end{matrix}\right\} O^2\right] + 8\left[\left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ H^2 \end{matrix}\right\} O^2\right] + 2\left[\left.\begin{matrix} MnO^{3'} \\ K \end{matrix}\right\} O\right]$$

$$= 5\left[\left.\begin{matrix} (SO^{2''})^3 \\ Fe^{2\text{VI}} \end{matrix}\right\} O^6\right] + \left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ K^2 \end{matrix}\right\} O^2 + 2\left[\left.\begin{matrix} SO^{2''} \\ Mn'' \end{matrix}\right\} O^2\right] + 8H^2O.$$

Á fin de conocer el modo de ejecutar el ensayo, preciso es comenzar por exponer la manera de preparar el reactivo y deducir su energía, esto es, el volumen de sal necesario para que pase un gramo de hierro del mínimo al máximo de oxidación ó cloruración. Los cristales de permanganato potásico, que se expenden en el comercio, son á propósito para estos experimentos, bastando disolverlos en agua hirviendo. Con objeto de hallar el guarismo que se busca, se pesa exactamente un gramo de alambre de hierro muy fino y sin el menor vestigio de oxidación; se introduce en un matraz de un litro de capacidad; se añaden 25^{cm^3} de ácido clorhídrico, y se hace hervir la mezcla hasta que el hierro se disuelva por completo, diluyendo en seguida la disolución en medio litro próximamente de agua muy acidulada con ácido sulfúrico. Se coloca el líquido en una vasija de saturación y se vierte sobre él poco á poco, y por medio de una probeta graduada, la disolución de permanganato, hasta que la adición de una sola gota comunique á toda la mezcla el color rojo, propio de aquella sal. Sea N el número de divisiones de la probeta, que mide el volumen de reactivo necesario para conseguir ese resultado; es evidente que las N divisiones corresponderán á un gramo de hierro, y por tanto, cada división representará $\frac{1}{N}$ gramos de hierro ó $\frac{160}{112N} = \frac{10}{7N}$ de anhidrido férrico. Si el hierro empleado no fuese muy puro, sería necesario determinar la proporción de materias extrañas y tenerla en cuenta en el cálculo precedente. Para evitar esta

dificultad, se suele deducir la composición del permanganato por medio del ácido oxálico ó del sulfato amónico-ferroso; pero la purificación de estas substancias es tan difícil como la análisis del hierro y el método descrito es preferible, por ser más directo.

Una vez verificado este experimento preliminar, nada más fácil que determinar la cantidad de hierro contenida en un cuerpo dado.

Lo primero que hay que hacer es transformar el óxido férrico en ferroso, si el metal se hallare en aquel estado, en la disolución de ácido clorhídrico. Se verifica rápidamente la reducción, empleando el zinc metálico: basta que hierva el líquido y añadir poco á poco hojuelas de zinc puro, y sobre todo exento de hierro; se desprende así un poco de hidrógeno, y también óxido nitroso, cuando la disolución encierra ácido nítrico. Se conoce que ha terminado la reacción, esto es, que el hierro ha pasado al mínimo de oxidación, en que el líquido pierde su color amarillento y se hace incoloro.

Llevada á cabo la transformación, se vierte con la probeta sobre el líquido, la disolución de permanganato. El color rojo de este cuerpo desaparece por la agitación, mientras la solución contiene aún sales ferrosas; pero cuando todas ellas se han transformado en férricas, una sola gota que se añada de permanganato basta para comunicar al líquido un tinte rojizo persistente. En el momento que esto sucede, ha concluído la operación: claro es que si n es el número de divisiones de la probeta, que mide el volumen gastado de reactivo, la cantidad de hierro contenida en el producto ensayado será $\frac{n}{N}$ gramos.

El mismo método puede aplicarse á deducir las proporciones relativas de óxidos ferroso y férrico en una substancia, investigación que es interesante en algunos casos. Á este efecto, se disuelve una cantidad adecuada de la materia que se va á analizar en ácido clorhídrico, y se diluye la disolución en un litro, poco más ó menos, de agua acidulada con ácido sulfúrico. Se divide el líquido en dos partes exactamente iguales: se vierte en una de ellas el permanganato alcalino y se ve el número n' de divisiones de la probeta, necesario para conseguir la coloración permanente; es claro que la cantidad de hierro encerrado en la parte de disolución en que se ha operado, en estado de óxido ferroso, será igual á $\frac{n'}{N}$. Se hace hervir con zinc la segunda

parte del líquido, acidulado, si necesario fuere, con ácido clorhídrico, procediendo del mismo modo que se ha dicho antes. Se deja enfriar y se observa el número n de divisiones de la probeta, que da el volumen gastado de reactivo, hasta producir en este segundo experimento el color rojizo. La cantidad total de hierro contenido en cada una de las partes de la disolución, será $\frac{n}{N}$ gramos, y por tanto, el peso del hierro existente en estado de óxido férrico, se determinará por la expresión $\frac{n - n'}{N}$.

Dosificación de los demás elementos.—Lo dicho en los párrafos anteriores se refiere simplemente á la separación del hierro y la alúmina, que se habían obtenido en el filtro. La cal y la magnesia, únicas substancias que restan por dosificar, están disueltas en el líquido proveniente de la filtración, y se pueden hallar las proporciones en que entran, siguiendo el método expuesto al tratar de la análisis de calizas.

Las cales y cementos absorben rápidamente el agua y el anhidrido carbónico de la atmósfera. Por la calcinación hasta el rojo intenso, se determinará la suma de estas dos materias, y la dosis de gas carbónico se calcula por uno de los procedimientos reseñados ya con detalle. Este último ensayo es indispensable para apreciar el agua encerrada en una cal, porque no es posible, como en las calizas, deducir del peso de la cal y la magnesia el del anhidrido carbónico, pues el cuerpo que se ensaya no es un carbonato de proporciones definidas.

ENSAYOS DE ARCILLAS, LADRILLOS, PUZOLANAS, ETC.

Generalidades.—La análisis de los silicatos insolubles en ácido clorhídrico, exige una operación preliminar que los haga atacables por ese reactivo, y permita reducir la determinación de sus elementos á las condiciones ordinarias de los ensayos por vía húmeda. Dicha operación consiste casi siempre en fundir la substancia con una base enérgica, que pueda formar con la sílice una combinación fácilmente descomponible por los ácidos.

Se tratará ante todo de la análisis de los compuestos silicatados, que no contengan sosa ni potasa, indicando en seguida las modificaciones que debe introducir la presencia de los álcalis, en la marcha general de los ensayos.

Los compuestos que es necesario calcinar al rojo, en contacto de los fundentes, se tienen que reducir previamente á polvo, tanto más fino, cuanto más difíciles sean de desagregar. Si se ensayan ladrillos, puzolanas ú otras substancias que encierren, en estado de mezcla más ó menos íntima, carbonato cálcico ú óxido de hierro, se principia por hacerlas hervir, durante algún tiempo, con ácido clorhídrico muy poco enérgico, que disuelve todas las materias extrañas. Se filtra y se lava con cuidado la parte no atacada, y el líquido filtrado se analiza por los procedimientos ordinarios, que se han señalado al tratar de las calizas. En cuanto al residuo insoluble, esto es, al silicato, se seca por completo, se pesa con exactitud y se le somete á las operaciones que se van á enumerar.

Tratamiento por los carbonatos alcalinos.—El peso de silicato en que se opera suele ser de 2 gramos, como en la mayor parte de los ensayos que se han considerado. El referido peso se mezcla íntimamente, en un crisol de platino, con otro cuatro ó seis veces mayor de un fundente, compuesto de cuatro partes de carbonato de sodio y cinco de carbonato de potasio, cuyas sales deben estar perfectamente secas. No es indispensable, sin embargo, emplear el fundente expresado; pudiera servir para el objeto una cualquiera de las dos sales alcalinas, pero se prefiere de ordinario la mezcla, porque presenta mayor fusibilidad que uno solo de los carbonatos.

El crisol de platino con las substancias indicadas, y cubierto con su tapa, se calienta fuertemente, por espacio de un cuarto de hora ó media hora, en una lámpara de Deville, en un mechero de gas, ó en un hornillo provisto en su parte superior de un cono de palastro que active el tiro; en este último caso, conviene introducir el crisol de platino en otro de barro, que á su vez debe estar tapado, cuidando de rellenar perfectamente los espacios vacíos con una substancia inerte. Cuando el crisol haya sufrido la acción del calor el tiempo que se ha dicho, se deja enfriar hasta que su temperatura sea la del rojo obscuro, en cuyo momento se sumerge en agua su parte inferior; el enfriamiento brusco así producido basta, en general, para que se se-

pare del crisol la materia más ó menos vitrificada que se ha formado. Si se verifica este fenómeno, se traslada la masa á una cápsula de porcelana: en caso contrario, se coloca en ésta el crisol con todo su contenido; se humedece la materia con agua, y después de algunos instantes, se añade con precaución cierta cantidad de ácido clorhídrico. Se manifiesta desde luego una efervescencia muy viva y la disolución se va operando poco á poco: cuando la adición de una nueva porción de ácido clorhídrico no produce ya efecto, se lava con esmero el crisol, añadiendo el agua de las lociones á la substancia encerrada en la cápsula, la cual debe estar tapada mientras dure la efervescencia, para evitar las proyecciones.

Cuando la desagregación por los carbonatos ha sido completa, toda la masa se disuelve en el ácido clorhídrico, bien á la temperatura ordinaria, bien calentándola algo. Puede suceder, no obstante, que alguna parte de la sílice quede sobrenadando en el líquido, en estado gelatinoso, á pesar de haber sido descompuesta toda la materia, pero en tal caso no quedarán nunca en el fondo de la cápsula granos duros y arenosos. Si se manifiesta esta última circunstancia, el ataque no ha sido completo, ya porque la calcinación no se haya prolongado bastante tiempo, ya porque el cuerpo no esté bien pulverizado. Entonces es preciso empezar de nuevo todo el experimento, ó separar las partes no desagregadas, pulverizarlas y calcinarlas segunda vez con carbonatos alcalinos.

La disolución en ácido clorhídrico, se evapora hasta la sequedad una ó dos veces; se trata cada uno de los residuos de la evaporación con agua acidulada, y se filtra; todo lo cual tiene por objeto agregar y hacer insoluble la sílice. Se prosigue después la análisis, ateniéndose en un todo á las prescripciones establecidas en el artículo referente al ensayo de cales y cementos.

El agua que puede contener el cuerpo dado, se dosifica por la calcinación al rojo vivo de cierta cantidad de la substancia.

Si la análisis se ha hecho con bastante esmero, y se encuentra, sin embargo, una diferencia apreciable entre el peso de la materia ensayada y la suma de los elementos determinados, es muy probable que el silicato propuesto encierre álcalis fijos. Entonces pueden deducirse las dosis en que entran por uno de los métodos que se exponen á continuación.

Tratamiento por el carbonato de bario.—Dos gramos de la substancia reducida á polvo impalpable, y después de tratada por el ácido clorhídrico, como se ha dicho antes, se mezclan lo más íntimamente posible con 8 ó 10 gramos de carbonato bárico puro. La mezcla se introduce en un crisol de platino, tapado, el cual se coloca á su vez en otro de barro, enlodando bien su unión con la tapa, por medio de un betún á propósito. En este estado se calienta todo hasta el blanco, por espacio de una hora ú hora y media, en una lámpara de Deville, ó en un buen horno que tenga suficiente tiro. Enfriado el crisol de platino, se separa de él la materia aglutinada que contiene, se la mezcla con ocho ó diez veces su peso de agua y se añade poco á poco ácido clorhídrico ó nítrico, teniendo cuidado de aguardar, antes de verter más ácido, á que haya terminado la acción del precedente: sin esta precaución, el cloruro de bario, que es muy poco soluble en el ácido clorhídrico, se precipitaría oponiéndose á la disolución de la materia. Se reconocerá, por otra parte, si la desagregación por el carbonato de bario ha sido completa, como se explicó para el caso de emplear fundentes alcalinos.

El carbonato bárico necesario para la análisis, se prepara vertiendo en una disolución de cloruro ó nitrato puro de bario, un exceso de carbonato amónico y lavando con cuidado el precipitado con agua caliente. El carbonato de sodio ó el de potasio producirían la misma reacción química que el de amonio, pero no deben usarse, porque dan lugar á sales muy difíciles de separar por la loción, y que introducirían graves errores en los resultados del ensayo.

La disolución de la materia en ácido clorhídrico se evapora hasta la sequedad, con las precauciones ordinarias, y el producto de la evaporación se trata con agua acidulada, que disuelve todos los cloruros sin atacar á la sílice, la cual se separa por medio del filtro.

El líquido filtrado puede analizarse de dos maneras distintas:

1.ª Cuando sólo se quieren dosificar los álcalis fijos y no es necesaria una exactitud absoluta, se añade al líquido un exceso de carbonato amónico, se filtra para separar el precipitado, se lava éste y se evapora hasta la sequedad el líquido obtenido. El resultado de la operación se calcina al rojo y se pesa, tratándolo en seguida con agua, que no disuelve más que los cloruros alcalinos, quedando como residuo la magnesia en estado de óxido; hallando el peso de esta última

y restándolo del que se encontró antes, se conocerá el de los dos cloruros de potasio y sodio. Se añade al líquido nitrato de plata en exceso, que descompone los cloruros alcalinos, precipitándose el cloruro de plata. Se recoge el precipitado, se lava, se seca y se pesa, determinando de esta manera la cantidad de cloro contenida en la mezcla de las dos sales, y por consiguiente, la suma de los pesos de potasio y de sodio que estaban combinados con aquel metaloide. Puede deducirse, partiendo de los números obtenidos, las dosis respectivas de potasa y sosa, siguiendo el procedimiento que se dará á conocer al tratar de las análisis indirectas.

No estará de más observar que si los metales alcalinos se hallasen disueltos en ácido sulfúrico, en vez del clorhídrico, se efectuaría su dosificación, deduciendo primero el peso de los dos sulfatos reunidos, y luego el del ácido sulfúrico, para lo cual pudiera emplearse como reactivo una sal soluble de bario, que precipitaría el sulfato bárico, cuyo peso serviría para determinar el del ácido.

2.ª El líquido resultante después de verificada la desagregación y separada la sílice, puede analizarse por completo, siguiendo otra marcha. Se vierte en la disolución, suficientemente diluída en agua, ácido sulfúrico que precipita la barita. Se filtra para separar el precipitado y se lava con bastante agua, á fin de disolver el sulfato cálcico (1), si la substancia dada encerrase cal. Se separa de este líquido la alúmina y el hierro con el amoniaco ó con el sulfuro amónico, y la cal con el oxalato de amonio ó con el ácido oxálico; se evapora hasta la sequedad y se calcina al rojo el residuo, con objeto de desalojar las sales amoniacales, volviéndole á tratar en seguida con agua. Si el líquido contiene magnesia, se puede dosificar esta base precipitándola de una parte de la disolución, por medio del amoniaco y el fosfato sódico. Los diferentes compuestos enumerados, se recogen y se pesan, como se ha dicho al tratar del ensayo de cales y cementos. En la última disolución obtenida, sólo quedan la potasa y la sosa, que se dosifican como se ha expresado en el caso anterior, ó bien empleando el cloruro platínico, $PtCl^4$, cuyos efectos son conocidos, y que tiene la ventaja de conducir directamente á la determinación del peso de cada uno de los dos álcalis.

(1) 100 partes de agua pueden disolver de 0,20 á 0,25 de sulfato cálcico.

Es conveniente siempre que se tenga que efectuar el ensayo de un silicato inatacable por los ácidos, llevarlo á cabo por los dos métodos explicados, es decir, usando como fundentes los carbonatos alcalinos y el de bario. Si las operaciones se hacen con esmero, ambos deben dar resultados próximamente iguales.

Tratamiento por el ácido fluorhídrico.—La acción del ácido fluorhídrico sobre la sílice, se utiliza á menudo para analizar por completo un silicato. Entre los diversos procedimientos ideados con este fin, se explicará el de Laurent, que se distingue por su sencillez y exactitud.

El aparato empleado es el que representa la figura 510; *A* es la vasija de plomo en que se produce el ácido fluorhídrico; *a*, el tubo de desprendimiento, que debe ser de platino; *B*, un crisol también de platino, en el que se introducen 2 gramos de la substancia que se va á ensayar, desleídos en 10 á 15 de agua; *C*, una lámina del mismo metal, con dos agujeros, que dan paso respectivamente al tubo de desprendimiento y á una espátula *b*, asimismo de platino, que sirve de agitador. El tubo de desprendimiento entra, según se ha dicho, en el crisol, pero debe cuidarse de que no llegue á estar en contacto con el agua. La marcha del ensayo es por demás sencilla: colocando algunos carbones encendidos debajo de la vasija de plomo, pronto empieza á desprenderse por el tubo *a* el ácido fluorhídrico, que se disuelve en el agua del crisol; al cabo de algunos minutos ejerce su acción sobre el silicato, desalojando al silicio en estado de fluoruro. Entonces es preciso agitar constantemente la materia, por medio de la espátula, y proceder con la mayor lentitud para evitar las pérdidas por proyecciones. El ataque ha de durar cerca de una hora: cuando termina, el silicato habrá desaparecido, no existiendo en el crisol, sino una disolución de color más ó menos obscuro, ó una materia parecida al engrudo. Inmediatamente se retira el crisol y se vierte en él gota á gota, ácido sulfúrico puro, diluído en un volumen de agua igual al suyo: el ácido debe estar en suficiente exceso, para convertir á todos los fluoruros en sulfatos. Se evapora hasta la sequedad, empleando el baño de María, mientras se desprenda ácido fluorhídrico, y después á fuego descubierto, hasta que desaparezca el exceso de ácido sulfúrico: cuando el residuo se haya enfriado, se deslíe en ácido clorhídrico concentrado, se deja reposar una hora y se

añade agua, calentando con precaución. Si el ataque por el ácido fluorhídrico ha sido completo, la disolución en ácido clorhídrico será perfecta: en caso contrario, hay que decantar el líquido y someter de nuevo el residuo á las acciones sucesivas de los ácidos fluorhídrico, sulfúrico y clorhídrico.

En la disolución á que se llega, estarán contenidos la cal, la alúmina, el óxido de hierro, la magnesia, la potasa y la sosa, si el silicato propuesto encerrase todos estos cuerpos, los cuales se dosifican por los métodos conocidos. También puede determinarse el anhidrido carbónico y el agua, caso que entren en la substancia que se ensaya, por los procedimientos explicados. En cuanto á la sílice, se dosifica por diferencia, ó fundiendo una porción especial de la materia con carbonatos alcalinos.

El tratamiento por el ácido fluorhídrico tiene el inconveniente de las muchas y minuciosas precauciones que lleva consigo.

ENSAYOS RÁPIDOS DE PUZOLANAS.

La análisis química de una puzolana, verificada por los métodos precedentes, no suministra datos positivos sobre su energía, ó lo que es lo mismo, sobre su potencia hidráulica, que es, por lo general, lo que más interesa conocer al Ingeniero.

Se verá ahora que, por medio de ensayos expeditos, puede valuarse por comparación, la hidraulicidad de una puzolana, siempre que por cualquiera circunstancia no sea posible recurrir á experimentos directos.

Ensayo por medio de una disolución de potasa.—Basta, de ordinario, para determinar la energía de una puzolana, reducirla á polvo y hacer hervir unos 5 gramos de la substancia en una disolución de potasa. Se filtra, se lava cuidadosamente el residuo, se calcina y se pesa de nuevo. La pérdida, deducida que sea el agua contenida en la puzolana (la cual se calcula por la calcinación directa de otra parte del silicato), hace conocer la proporción de elementos solubles en la potasa. Operando siempre de la misma manera, empleando el reactivo en igual grado de concentración y efectuando los ensayos en circunstancias casi iguales de tiempo y temperatura, puede admitirse, hasta cierto punto, que las diversas puzolanas se descomponen por la cal, y le ceden su sílice y alúmina, con una facilidad comparable á la con que esos dos cuerpos se combinan con la potasa, en la disolución alcalina. En cuanto á las cantidades de sílice y alúmina disueltas en la potasa, se dosifican neutralizando con un ácido el líquido filtrado, evaporando hasta la sequedad para agregar la sílice, y volviendo á tratar el residuo con agua acidulada, que disuelve la alúmina, la cual se precipita por el amoniaco ó el carbonato amónico.

Ensayo volumétrico.—El ensayo anterior exige bastantes pesadas, filtraciones y lociones. Se expondrá otro método debido á Mangon, que abrevia extraordinariamente las operaciones, y que lo propone aquel distinguido Ingeniero con las mayores reservas, porque no ha sido sometido á experimentos bastante numerosos.

Se ha observado hace mucho tiempo que las puzolanas precipitan la cal disuelta en el agua, y que la cantidad de agua de cal así descompuesta, parece proporcional á la energía hidráulica de la materia. La poca solubilidad de la cal en el agua pura, y la rapidez con que la disolución se altera en contacto del aire, hacen difícil poner en práctica un método de ensayo, basado en la propiedad que se acaba de recordar. Sin embargo, el sacarato cálcico, tan fácil de preparar y que se conserva y maneja sin inconveniente alguno, se descompone por las puzolanas del mismo modo que el agua de cal, y proporciona un medio expedito para ensayar estos materiales.

Se empieza por pulverizar las puzolanas que van á compararse. El polvo correspondiente á cada ejemplar, se tamiza á través de un cedazo de seda fina ó de una tela metálica de mallas muy pequeñas; y las partículas obtenidas por este cernido, se tamizan de nuevo por un cedazo más fino que el primero, que puede ser una gasa. Sólo se emplean las partículas que quedan en el segundo tamiz, consiguiendo de esta manera que todos los ejemplares tengan próximamente el mismo grado de tenuidad, puesto que las pequeñas partículas así obtenidas, son bastante finas para pasar por el primer cedazo y bastante gruesas para que las retenga el segundo.

Se pesan 50 ó 100 gramos de la substancia pulverizada, según se ha dicho, y se introducen en un frasco ó en un matraz de fondo plano, con medio litro ó un litro de sacarato cálcico, preparado como se

explicó al tratar del ensayo volumétrico de calizas. Se tapa la vasija con un corcho y se abandona la mezcla á sí misma, á la temperatura ordinaria, por espacio de veinticuatro ó treinta horas, agitándola vivamente siete ú ocho veces, durante ese intervalo, con objeto de renovar las superficies en contacto. Se deja reposar el líquido, del cual se sacan después con una pipeta graduada 50^{cm^3}, que se colocan en una vasija de saturación con un poco de tintura azul de tornasol. Se llena entonces la probeta de ácido sulfúrico ó clorhídrico, bastante diluído en agua, para que 50^{cm^3} del sacarato empleado exijan para su saturación, antes de estar en contacto con la puzolana, 480 á 500 divisiones de la probeta. Sea N el número de divisiones necesarias para conseguir este resultado, guarismo que se determina de una vez para todas, como en los ensayos de calizas. Si se supone ahora que el número de divisiones de la probeta, indispensable para enrojecer la tintura azul mezclada con el sacarato sobre que ha ejercido su acción la puzolana, esté representado por n, la proporción relativa de sacarato descompuesto por la puzolana sería $\frac{N-n}{N}$; de suerte que si se admite que la energía de las puzolanas sea proporcional á esta cantidad, los valores de los diferentes ejemplares ensayados por el método precedente, estarán entre sí como los números $N-n$, $N-n'$, $N-n''$, etc., teniendo la letras n', n'', etc., significación análoga á la de n.

Los dos procedimientos indicados en este artículo, suponen que se compare una puzolana con otra tomada como tipo, cuyas propiedades sean bien conocidas; se fundan, por otra parte, en leyes de proporcionalidad, que no están comprobadas por tal número de experimentos, que puedan admitirse sin restricción: no obstante, la facilidad de ejecución del último ensayo, le hace utilísimo desde luego en muchas circunstancias. Por lo demás, se concibe que sería necesario poder comparar entre sí gran copia de puzolanas distintas, para dar á este método toda la generalidad de que pudiera ser susceptible.

ENSAYOS DE TIERRAS VEGETALES.

Generalidades.—La análisis completa de las tierras vegetales, es una operación en extremo delicada; pero bastará indicar algunos ensayos muy sencillos, que es posible tengan que efectuar en ciertas circunstancias, los Ingenieros encargados de servicios hidrológicos.

Los ejemplares de tierra que se quiera someter á la análisis, deben escogerse cuidadosamente en toda la profundidad de la capa que se vaya á examinar, y en varios puntos del mismo campo, para que la mezcla de las diferentes porciones de tierra represente, en lo posible, la composición media del terreno. Cada ejemplar ha de pesar, por lo menos, 1 ó 2 kilogramos, y conservarse en un frasco de boca ancha.

Antes de verificar los ensayos, conviene secar la tierra á una temperatura conocida, de 100° por ejemplo, con objeto de quitarle toda el agua higrométrica; así como separar con la mano los cantos ó guijarros, cuyo tamaño exceda del de una avellana.

Separación mecánica de elementos.—La separación mecánica, por medio de la levigación, de los diversos elementos de una tierra, da frecuentemente ideas muy exactas de su constitución física; y como, por otra parte, la operación es sencilla, debe siempre preceder á los ensayos químicos. Para efectuarla con orden, puede seguirse el método siguiente:

1.° Se hacen hervir 200 gramos de tierra en una cápsula, con un litro de agua destilada, por espacio de una hora; en seguida se echa la masa sobre una criba de hojalata ó cobre, cuyos agujeros tengan próximamente 5 diezmilímetros de diámetro, la cual se coloca encima de una vasija para precipitados, de dos litros, por lo menos, de capacidad. Agitando la tierra con una cuchara, el agua se escapa y arrastra consigo, á través de la criba, la arena fina y las demás partículas tenues. Se coge con la cuchara parte del agua que se ha escapado, y se mezcla de nuevo con la tierra, agitando sin cesar, para que el arrastre de las materias tenues sea completo. Finalmente, se añade poco á poco á la masa agua destilada, continuando la agitación, hasta que el líquido salga claro.

2.° La mezcla que queda en la criba se compone de grava más ó menos gruesa, arena de mediano diámetro y restos orgánicos no descompuestos. Se vierte todo en una vasija para precipitados y se remueve con agua. Los restos orgánicos sobrenadan y se pueden recoger con una cucharita ó un cazo. La arena y la grava se depositan en el fondo, de donde se sacan para colocarlas en una segunda criba, cuyos agujeros tengan 5 milímetros de diámetro. Se repite entonces la primera operación, consiguiendo así separar la grava y la arena; ésta sale mezclada con el agua, y aquella queda en el tamiz.

Aislados los restos orgánicos no descompuestos, la arena de mediano grueso y la grava, se secan y se pesan por separado.

3.° Las materias que pasaron por la primera criba se componen de arena fina y tierra propiamente dicha. Se agita el líquido mezclado con esas substancias, se hace reposar un instante y se decanta. La arena fina queda en el fondo de la vasija y la tierra es arrastrada: se deja reposar el líquido decantado y se vuelve á verter agua clara sobre las materias que quedaron en la primera vasija; se agita de nuevo y se decanta, después de un instante de reposo. Repitiendo tres ó cuatro veces las operaciones precedentes, la separación de la arena y la tierra es casi completa. Termina el ensayo haciendo una última decantación con agua limpia.

Una vez separada la arena fina, se seca y se pesa.

4.° La tierra tenue arrastrada por el agua (3.°) se recoge en un filtro, se lava con agua caliente, se seca y se pesa. El líquido filtrado, juntamente con el agua invertida en la loción, contiene todos los elementos solubles del terreno examinado. Se concentra fuertemente la disolución á fuego lento, ó más bien en el vacío, y se pesa el residuo después de secarlo.

Las cuatro operaciones reseñadas permiten separar con bastante exactitud y valuar las proporciones de las substancias que componen la tierra, á saber: materias solubles en el agua, grava, arena media, arena fina, tierra tenue y restos orgánicos no descompuestos. Estos ensayos tan sencillos y que no exigen ningún aparato delicado, pueden por sí solos proporcionar indicaciones muy útiles, cuando se ejecutan para comparar una tierra de calidad conocida, con otra que se trate de mejorar, pues desde luego arrojan gran luz acerca de las ventajas probables que se lograrán, añadiendo á la tierra que se examina arcilla, grava ó arena. Los resultados prácticos obtenidos en la agricultura con la aplicación de estos medios, han sido satisfactorios.

Análisis de las substancias separadas.—El complemento natural de las operaciones descritas, es la análisis química de las diversas materias separadas por levigación. Los ensayos más importantes y fáciles de ejecutar son los siguientes:

1.° El residuo de la evaporación de las aguas de loción de la tierra es bastante complejo; encierra casi siempre cuerpos orgánicos nitrogenados y gran número de sales minerales, cuya completa análisis es difícil. El Ingeniero puede limitarse á pesarlo en masa y á analizarlo cualitativamente, bastando, para la mayor parte de los casos, las indicaciones hechas al tratar de procedimientos generales.

2.° La grava, la arena mediana y la arena fina, son casi siempre silíceas y su análisis química no presenta, en general, utilidad práctica. Si fuere preciso verificarla, se haría por los métodos explicados para analizar los silicatos insolubles en los ácidos. Se debe determinar, sin embargo, si esas tres clases de compuestos contienen carbonato de cal; á este efecto, se tratan con ácido clorhídrico diluído, que producirá una efervescencia, siempre que existan carbonatos. En este caso, se deja que termine la acción del ácido, se lava bien el residuo silíceo, se seca de nuevo y se pesa. La diferencia indica la proporción de materia caliza; pudiéndose ver, por los métodos ordinarios, si el líquido ácido no contiene más que cal ó una mezcla de esta base y magnesia.

3.° La tierra que quedó en el filtro contiene la mayor parte de las materias orgánicas, carbonato y fosfato cálcicos, arcilla y óxido de hierro. Se toma cierto peso de la mezcla previamente desecada, y se calcina al rojo en una cápsula, hasta que se queme toda la substancia orgánica y no queden vestigios negros de carbón. Se pesa de nuevo y la pérdida da á conocer la suma de los pesos de materias orgánicas y agua combinada con la tierra. El residuo de la calcinación se introduce en una redoma de fondo plano y se calienta, por espacio de media hora, con ácido clorhídrico diluído. Filtrando en seguida, el filtro retiene las materias insolubles en el ácido (arcilla, sílice, etc.), las cuales se pesan, después de lavadas y secas. El líquido filtrado encierra fosfatos, cal, óxido de hierro, y algunas veces

silice y alúmina: se evapora la disolución hasta la sequedad, para hacer insoluble la silice; se trata nuevamente el residuo con agua acidulada, y se recoge la silice en un filtro, secándola y pesándola inmediatamente. El líquido filtrado se trata con un exceso de amoniaco, que precipita los fosfatos, el óxido de hierro y la alúmina, si la disolución contiene todos estos cuerpos: se recoge el precipitado en un filtro, se seca y se pesa.

Si se quisiera hacer una análisis exacta, se recurriría á los procedimientos indicados en artículos anteriores.

El líquido separado del último precipitado, no contiene más que cal y algunas veces magnesia, cuyas materias se dosifican, como se ha dicho, al tratar de la análisis de calizas.

En los ensayos de tierras no se hace generalmente más que dosificar el carbonato cálcico; el ácido sulfúrico, que se encuentra en ellas casi siempre, en estado de sulfato de calcio, y las materias orgánicas. Estas operaciones son tanto más importantes, cuanto que el ensayo que en muchos casos hay que hacer de una tierra, se reduce á la determinación de uno de aquellos elementos.

Dosificación del carbonato cálcico.—Para dosificar el carbonato cálcico se pesa, después de seca, cierta cantidad de la tierra propuesta, se calcina para destruir las materias orgánicas, y se trata luego con ácido clorhídrico diluído, hasta que cese la efervescencia producida. Se filtra y se lava la parte insoluble, tratando con amoniaco el líquido filtrado: se forma así un nuevo precipitado, que se separa de la disolución, la cual se ataca después, con oxalato de amonio ó ácido oxálico, que, como es sabido, precipita la cal. Se recoge el oxalato cálcico producido, se lava, se seca y se procede como se ha dicho para determinar la proporción de cal, que da inmediatamente á conocer la de carbonato.

Dosificación del ácido sulfúrico.—La dosificación del ácido sulfúrico ó del sulfato cálcico correspondiente, puede hacerse con bastante exactitud, operando en 15 ó 20 gramos de tierra y desagregándola, por vía húmeda, con un carbonato alcalino, según se explicó al tratar de las calizas.

Dosificación de las materias orgánicas.—La pérdida de peso experimentada por la calcinación en contacto del aire, de una tierra ya desecada, se toma frecuentemente como medida de la cantidad de materias orgánicas que contiene; pero hay que tener en cuenta que este ensayo determina, al mismo tiempo que el peso de las substancias combustibles, el del agua combinada, y que, por consiguiente, no da idea exacta de la cantidad de materia orgánica.

Algunas veces se calcula la proporción en que estos cuerpos entran en una tierra, mezclando una parte de la substancia que se va á ensayar con veinte de óxido plúmbico, y calentando la mezcla en un crisol de barro. Después del enfriamiento, se encuentra por residuo una escoria vítrea y un botón de plomo, que se pesa. El plomo se ha reducido por la combustión de las materias orgánicas, y resulta de los experimentos de Berthier, que se deduce el peso de aquellas, multiplicando por 0,075 el del botón metálico.

Este ensayo se hace con rapidez, pero supone que las materias orgánicas contenidas en las tierras, tienen siempre la misma composición, hipótesis que está muy lejos de ser cierta. Sin embargo, este método combinado con procedimientos más perfectos, puede dar resultados comparativos de algún interés, y conviene conocerlo.

La mayor parte de las materias orgánicas que encierran las tierras forman una substancia obscura, soluble en la potasa y designada con los nombres de *ácido húmico* y *humina*. En muchas ocasiones sólo se quiere determinar la dosis en que entra este cuerpo: para ello se hace hervir cierto peso de tierra con una disolución de potasa; se filtra y se lava el residuo con la misma disolución alcalina caliente y diluída; el líquido se sobresatura de ácido clorhídrico, se recoge en un filtro el precipitado obscuro producido, se seca y se pesa, se calcina en seguida al rojo y se pesan las cenizas obtenidas. La diferencia entre las dos pesadas, determina la cantidad de materias orgánicas disueltas en la potasa.

El experimento descrito da resultados bastante vagos, por la composición compleja de las substancias orgánicas solubles en los álcalis; por consiguiente, si se quiere proceder con completo rigor, es preciso atenerse á los métodos de análisis orgánica, que la índole especial de esta obra no permite exponer.

ENSAYOS DE HIERROS.

Elementos que se considerarán.—Los hierros fundidos y los aceros se componen esencialmente de carbono y hierro, pero además encierran con frecuencia silicio, azufre y fósforo, aparte de otras substancias, de que se prescindirá en estos ensayos, tanto porque de ordinario entran en dosis insignificantes, cuanto porque no está bien definida la influencia que ejercen en la calidad de los hierros.

Dosificación del carbono.—La pulverización de la materia suele presentar alguna dificultad, sobre todo si se trata de hierros fundidos blancos, pues los grises se pueden atacar con la lima, obteniendo por ese medio partículas bastante tenues. En aquellos se ejecuta la división, reduciéndolos primero á fragmentos de mediano tamaño en yunque ó mortero ordinario, triturándolos después en el de Abich, y pasando finalmente la materia obtenida, á través de un cedazo de seda, cuyos claros sean muy menudos. Es evidente que las partículas que queden en el tamiz se habrán de triturar de nuevo, si se necesitasen para el ensayo.

En extremo variados son los métodos que se conocen para la dosificación del carbono, pero bastará dar á conocer los más usados.

Método de Regnault.—Se mezclan 5 gramos de hierro fundido ó acero pulverizado con 100 ó 120 de cromato plúmbico; se separa la cuarta parte de la substancia así formada, y se añaden á las tres cuartas partes restantes 5 gramos de clorato potásico, verificando la mezcla lo más íntimamente que sea posible. Se introduce ésta en un tubo de combustión, *ab* (fig. 511), de vidrio poco fusible, de $0^m,50$ á $0^m,60$ de longitud, abierto por uno de sus extremos, *a*, y terminado por el otro en una punta encorvada y cerrada; sobre esta parte de la substancia, que naturalmente ocupará la posterior del tubo, se echa la que se separó al principio, que no contiene clorato potásico. El tubo se coloca en un hornillo de palastro; al extremo *a* de aquel se adapta un tubo *A*, en forma de *U*, que contiene cloruro de calcio ó piedra pómez empapada en ácido sulfúrico concentrado, con objeto de absorber la humedad que desprendan los cuerpos encerrados en el tubo de combustión; finalmente, se dispone un aparato de Liebig, *B*, que contiene una disolución concentrada de potasa, destinada á retener el anhidrido carbónico que se forma, como en seguida se verá.

Se empieza por calentar la parte, *a*, del tubo de combustión que no contiene clorato potásico, aproximando después lentamente los carbones á la ocupada por dicha sal y las demás substancias. La combustión del hierro carburado se verifica, tanto á expensas del oxígeno del cromato plúmbico, como del que se desprende del clorato; su producto es anhidrido carbónico, que se disuelve en el tubo de Liebig, constituyendo carbonato potásico. Se continúa añadiendo carbones, hasta llegar al extremo *b* del tubo *ab*: en esta operación, el exceso de oxígeno proveniente de la descomposición del clorato, se desprende al mismo tiempo, á través del aparato, yendo á parar á la atmósfera. Con un poco de práctica se puede moderar bastante el desprendimiento de dicho gas, evitando las pérdidas que de otra manera se experimentarían, á causa de las proyecciones de la disolución alcalina. Conviene colocar en el extremo *b* del tubo de combustión una pequeña cantidad de una mezcla de cromato plúmbico y clorato potásico, á fin de que, al terminar la operación, se produzca una corriente de oxígeno puro, que desaloje los restos de anhidrido carbónico que contenga el tubo, obligándoles á pasar al aparato de Liebig. También debe procurarse disponer las materias en el tubo, de suerte que en el extremo *a* quede un espacio libre, pues de lo contrario sería de temer que el cromato, que se hace pastoso y se hincha algún tanto, obstruyese la capacidad y determinara una explosión.

De lo dicho se desprende que si se pesa el aparato *B*, antes y después de la operación, la diferencia entre ambas pesadas dará á conocer el anhidrido carbónico producido, de cuyo guarismo se deducirá, con la mayor facilidad, el peso del carbono contenido en el hierro ensayado. Si éste encerrase azufre, en nada se alterarían los resultados del experimento, pues dicho metaloide quedaría en el tubo de combustión formando sulfato alcalino.

Claro es que el mismo procedimiento puede aplicarse, sin variación alguna, á la análisis de hierros dulces.

El método expuesto ofrece el inconveniente de que de la mezcla de cromato plúmbico y clorato potásico se desprende, además de oxígeno, una pequeña cantidad de cloro, según han observado Marignac

y Kudernatsch. El cloro es absorbido al mismo tiempo que el anhidrido carbónico por la disolución alcalina, de suerte, que el número hallado para peso del carbono es siempre algo erróneo por exceso. Para obviar esta dificultad se han propuesto varios medios, entre los que conviene citar los dos siguientes: 1.°, emplear, en vez del clorato potásico, bicromato del mismo metal, que se mezcla con el cromato plúmbico, en proporción de $^1/_{10}$ próximamente; 2.°, mezclar tan sólo óxido cúprico con el hierro pulverizado, y calcinar las substancias en un tubo de combustión, haciendo pasar al propio tiempo, á través del aparato, una corriente de oxígeno. Este último es, en concepto de Rose, el procedimiento más aceptable.

MÉTODO DE BERZELIUS, EMPLEANDO COMO REACTIVO EL CLORURO DE PLATA. —Se puede dosificar el carbono, fundiendo en una cápsula de porcelana 30 ó 40 gramos de cloruro de plata, de manera que se forme una masa, que presente una superficie lisa, la cual se introduce en una vasija con agua ligeramente acidulada con ácido clorhídrico, preservándola del contacto del aire, por medio de una placa de vidrio. Sobre el cloruro de plata, se coloca un trozo del hierro que se va á ensayar, cuyo peso, determinado con la mayor exactitud, debe ser de unos 5 gramos. El cloruro de plata se descompone paulatinamente, formándose cloruro ferroso y quedando en libertad el carbono; pero la reacción es muy lenta, y se necesita á veces, para que sea completa, el transcurso de muchas semanas.

La substancia esponjosa que se obtiene como residuo, no es carbono puro; contiene algún hierro, silicio, etc., mas se puede determinar con suficiente aproximación el peso del carbono. Á este efecto, se hace hervir la materia en ácido clorhídrico diluído, que disuelve los últimos vestigios de hierro; se recoge el precipitado en un filtro previamente pesado; en ese estado se seca á una temperatura de 100 á 150°; se pesa, y después se le separa del filtro. El peso así obtenido es el de una mezcla casi exclusiva de carbono y sílice, de suerte que si se verifica la combustión de la materia, en contacto del aire, el carbono se desprenderá en estado de anhidrido carbónico y quedará como residuo la sílice. Determinando el peso de ésta y restándolo del antes obtenido, se hallará la cantidad buscada de carbono.

Este procedimiento es el más antiguo de cuantos se conocen para la dosificación del carbono en los hierros carburados; se usa con ventaja en muchas ocasiones, pero es poco exacto, según resulta de las observaciones hechas por químicos distinguidos. Tiene además el inconveniente de que, como ya se ha dicho, exige mucho tiempo para que el ataque por el cloruro de plata sea completo.

MÉTODO DE BERZELIUS, EMPLEANDO COMO REACTIVO EL CLORURO CÚPRICO. —En realidad, este método es una modificación del anterior. El hierro se ensaya pulverizado, y se reemplaza el cloruro de plata con cloruro cúprico. Por lo demás, la marcha difiere poco de la anterior. Este método se emplea con mucha frecuencia.

SEPARACIÓN DEL CARBONO MEZCLADO Y DEL COMBINADO.—Se sabe que el carbono puede existir en los hierros en dos estados: 1.°, en el de carbono combinado ó disuelto, como en los hierros fundidos blancos y en los aceros; y 2.°, en el de laminillas grafíticas aisladas, que se encuentran en los hierros colados grises. Es de la mayor importancia distinguir estos dos estados del carbono, porque influyen de una manera esencial en la naturaleza de los metales: puede verificarse de un modo sencillo. En efecto, cuando se ataca el acero ó un hierro fundido blanco, con ácido clorhídrico, el metal se disuelve, desprendiéndose hidrógeno, que exhala un olor fétido, á consecuencia de estar mezclado con proporciones notables de hidrógeno carbonado gaseoso y con vapores de otros carburos de hidrógenos líquidos, que no se han estudiado bien todavía. Todo el carbono del hierro desaparece formando parte de esos productos, y el residuo se compone solamente de la sílice producida por el silicio contenido en la materia.

Si, al contrario, se ataca con ácido clorhídrico un hierro fundido gris, el gas que se desprende es también fétido, puesto que el carbono que estaba en combinación con el hierro se convierte en carburos de hidrógeno líquidos ó gaseosos; pero el carbono grafítico queda intacto, en unión con la sílice. Se recoge el residuo en un filtro y, después de haberlo lavado bien, se deja secar; se vierte en seguida sobre el filtro un poco de éter, que disuelve las materias aceitosas que pudieran quedar; se seca de nuevo el filtro, á una temperatura superior á 100°, y se pesa el residuo, determinando de esta manera la cantidad de sílice y grafito. Se calienta la substancia en una cápsula de platino, en contacto con el aire, ó mejor en una corriente de oxígeno; el grafito arde, produciendo anhidrido carbónico, y por consiguiente, el peso del residuo de la combustión dará á conocer el de

la sílice, y por tanto el del grafito. Si se resta del peso total del carbono, hallado por uno de los procedimientos que se han dado á conocer, el del grafito, se obtendrá el del carbono combinado.

Dosificación del silicio.—Casi nunca deja de entrar el silicio en las diferentes especies de hierros, pero se puede admitir que sus proporciones son tanto menores, cuanto mayores las de carbono. La misma observación se aplica al azufre, al fósforo y á los demás cuerpos, que forman parte de aquellos materiales.

El silicio se encuentra en el hierro, en estado de siliciuro de hierro, si bien se cree por algunos que en ciertas ocasiones se presenta en el de sulfuro de silicio.

El procedimiento que generalmente se emplea para dosificar este cuerpo, consiste en disolver el hierro en ácido clorhídrico, con lo cual se consigue cambiar el silicio en sílice gelatinosa. Se evapora el líquido hasta la sequedad para hacer insoluble la sílice, se trata de nuevo con agua, y se recoge el residuo en un filtro. Se pesa la sílice, después de haberla calcinado á la temperatura del rojo obscuro, deduciendo así el peso del silicio.

Según Schafhaült, al disolverse el hierro fundido gris en ácido clorhídrico, no pasa todo el silicio al estado de sílice, sino que parte de ese cuerpo simple da lugar á un óxido de silicio, el cual puede convertirse en ácido silícico, vertiendo en la disolución amoniaco, que produce al propio tiempo un desprendimiento de hidrógeno.

El método expuesto es suficientemente aproximado para ensayos que no exijan gran perfección; pero conviene advertir que, según Rose, no hay seguridad de que sea exacto en absoluto, porque hasta ahora no se ha hecho ningún experimento encaminado á determinar si los carburos de hidrógeno, que se desprenden al disolverse el hierro en el ácido, arrastran alguna pequeña cantidad de hidrógeno siliciado.

Sucede con frecuencia que los hierros encierran partículas interpuestas de escorias, de manera que el residuo contiene, no sólo la sílice proveniente del silicio, sino las escorias diseminadas y atacadas en mayor ó menor grado por el ácido clorhídrico. Las escorias de los hornos alimentados con carbón vegetal no son atacables, en general, por aquel reactivo; pero las de los hornos en que se enciende cok se modifican más ó menos. El residuo que se obtiene atacando el hierro con ácido clorhídrico puede componerse, pues, de sílice gelatinosa y de escorias; para separar estas substancias, no hay más que someterlas á la acción de una disolución de potasa cáustica, que disuelve la primera y no altera á las demás. Se puede conocer, por consiguiente, con bastante exactitud, la sílice proveniente del silicio del hierro.

Dosificación del azufre.—Para dosificar el azufre se disuelve el metal en agua regia; el hierro se convierte en cloruro férrico y el azufre en ácido sulfúrico; se diluye el líquido en agua y se precipita el ácido sulfúrico, en estado de sulfato bárico, por medio del cloruro correspondiente. El peso de aquella sal dará evidentemente á conocer el del azufre contenido en el hierro.

El método anterior tiene el defecto de ser poco exacto, en atención á las pequeñas dosis de azufre que encierran los cuerpos que se consideran. Para proceder con más escrupulosidad, es preciso disolver el hierro en ácido clorhídrico y volatilizar el azufre en estado de hidrógeno sulfurado. No hay necesidad de insistir en este asunto: sólo se dirá que la operación bosquejada exige mucho tiempo para llevarla á cabo en la práctica, pues no baja su duración de diez á catorce días para los hierros fundidos, de ocho á diez para el acero y de tres á cuatro para el hierro dulce.

Dosificación del fósforo.—Para dosificar el fósforo pueden seguirse varios métodos, entre los que sólo se dará á conocer uno, que consiste en precipitar el fósforo, en estado de subfosfato férrico. Se ataca la materia con agua regia, evaporando después hasta la sequedad para desalojar el exceso de ácido, y tratando con agua el residuo. Sobre el líquido, que contendrá el fósforo en estado de ácido fosfórico, se vierte un exceso de sulfhidrato potásico, y se dejan en contacto mutuo todas las substancias, por espacio de muchas horas, y á una temperatura próxima á 100°. El hierro y algunos otros metales que, como el manganeso, pueden entrar en la composición del cuerpo que se ensaya, se precipitan en estado de sulfuros, y pueden separarse por medio del filtro. En el líquido que se obtiene, y que encierra el ácido fosfórico, se descompone el sulfuro alcalino con un ligero exceso de ácido clorhídrico, haciendo en seguida hervir la disolución para que se desprenda el hidrógeno sulfurado que se forma.

Verificadas las operaciones anteriores, se pesa con la mayor exac-

titud un decigramo de alambre de hierro muy puro, se disuelve en agua regia y se vierte en la disolución obtenida anteriormente, el cloruro férrico procedente del ataque por el último reactivo. Se añade al líquido un exceso de amoniaco, que determina la precipitación del hierro en estado de hidrato férrico, y la del ácido fosfórico en el de subfosfato férrico. Se calcina, en contacto con el aire, todo el precipitado, se pesa el residuo, del guarismo hallado se restan 145 miligramos (peso del anhidrido férrico producido por un decigramo de metal puro), y la diferencia dará á conocer la cantidad de ácido fosfórico procedente del fósforo contenido en la substancia que se analiza.

El fósforo puede dosificarse de muchas otras maneras; pero todas ellas presentan poco interés para el Ingeniero de Caminos.

Dosificación del hierro.—El hierro es el cuerpo que entra incomparablemente en mayores proporciones en estos materiales; de suerte, que si del peso total de un trozo cualquiera, se resta la suma de las cantidades correspondientes de carbono, silicio, azufre y fósforo, que ya se ha visto cómo se determinan, se obtendrá con bastante aproximación la dosis de hierro, por más que se haya hecho caso omiso de varias substancias, que pueden entrar en la composición de la materia. En efecto, todas ellas tienen poquísima, por no decir ninguna importancia, puesto que sólo algunas milésimas acusaría, en la constitución del material, la análisis más delicada: además, y por una razón análoga, no es posible que los errores cometidos en las dosificaciones efectuadas, influyan sensiblemente en el resultado final.

ENSAYOS DE AGUAS.

CONSIDERACIONES GENERALES

SOBRE LAS AGUAS NATURALES.

Las aguas que se encuentran en la naturaleza, están muy distantes de ser puras; además del oxígeno y el nitrógeno, provenientes del aire atmosférico que encierran en disolución, contienen ó pueden contener, en igual estado: potasa, sosa, cal, magnesia, óxido ferroso y alúmina; anhidrido carbónico; ácidos sulfúrico, nítrico y silícico; cloro, bromo y yodo combinados con el hidrógeno ó con algunos de los metales, cuyos óxidos se han expresado; materias orgánicas, y otras muchas que sería largo enumerar. Prescindiendo por completo en todo lo que sigue, de las *aguas saladas* y de las llamadas *minerales*, se tratará tan sólo de las procedentes de corrientes naturales, que se denominan, por lo general, *aguas dulces*.

Al Ingeniero sólo le interesa conocer la composición de las aguas desde los puntos de vista de su empleo en la economía doméstica, en los riegos y en las calderas de las máquinas de vapor. Asuntos son éstos, sin embargo, delicados en extremo, y sobre los cuales únicamente se expondrán ligeras consideraciones.

AGUAS POTABLES.

Á continuación se extractan del *Anuario de las aguas de Francia*, correspondiente al año 1851, las principales propiedades que deben caracterizar á las aguas potables, así como la influencia que en su calidad ejercen la mayor parte de las materias que antes se han citado.

El agua puede considerarse como buena y potable cuando es fresca, clara é inodora; cuando es casi insípida y su ligero sabor no es desagradable, soso, salado ni azucarado; y cuando contiene pocas substancias extrañas, encierra suficiente aire en disolución, disuelve el jabón sin coagularse y cuece bien las legumbres.

Influencia del aire y el anhidrido carbónico.—Una pequeña dosis de anhidrido carbónico da un sabor algo perceptible al agua y la hace más agradable, al mismo tiempo que facilita las funciones digestivas, por la acción excitante del gas. En cuanto al aire, todos los autores admiten que debe entrar en disolución en una agua de buena calidad.

Influencia de las sales de calcio.—Cuando el agua contiene más de una milésima de sales de calcio en disolución, se considera como impropia para los usos domésticos, y se dice vulgarmente que es *cruda*. Sin embargo, no se consideran perjudiciales para las aguas todas las sales cálcicas; la mayor parte de los médicos, y entre ellos Dupasquier, creen que el bicarbonato, en proporción de media milé-

sima, no sólo no es desfavorable, sino que constituye un elemento útil.

Influencia de las sales de magnesio.—Las sales solubles de magnesio se pueden administrar en grandes proporciones, sin determinar accidentes inmediatos, pero no está bien estudiada la acción que ejercen, cuando se hallan en dosis de alguna consideración en las aguas potables, y cuando intervienen, por tanto, diaria y continuamente, en la alimentación del hombre.

Influencia de los sulfatos.—El sulfato que más comúnmente encierran las aguas en disolución, es el de calcio, que desempeña un papel muy diferente del que se atribuye al bicarbonato del mismo metal. En efecto, esta última sal, á diferencia de la primera, tiene la propiedad de desprender un gas eminentemente estable y favorable á la acción digestiva. Pero aparte de esta circunstancia, el agua puede disolver una cantidad de sulfato cálcico, suficiente para adquirir un sabor azucarado muy desagradable; además esa sal es susceptible de descomponerse, mediante la influencia de una materia orgánica, dando lugar á hidrógeno sulfurado, que es elemento en extremo pernicioso; y por último, el sulfato de calcio ejerce acción descomponente sobre los jabones, y contribuye en gran escala á la formación de incrustaciones en las calderas de las máquinas de vapor.

Influencia de los nitratos.—En casi todas las aguas naturales entran nitratos, si bien en pequeñas proporciones. No están bien estudiadas sus acciones, pero es presumible que el nitrato cálcico obre en la economía y en los usos domésticos de una manera análoga á la que se ha explicado para el sulfato del mismo metal. El nitrato de calcio es muy favorable al desarrollo de la vegetación.

Influencia de los cloruros, bromuros y yoduros.—La insignificante cantidad de cloruro de sodio (apenas una millonésima) que se encuentra en algunas aguas potables, ejerce en la economía animal más bien acción útil que perniciosa. En efecto, si se considera la proporción mucho más elevada de sal común que entra en los alimentos, se comprenderá fácilmente que una cantidad tan pequeña de sal en el agua, no puede producir otro efecto que el de contribuir con las demás substancias á darle cierto sabor. Pero debe observarse, que la experiencia demuestra que los cloruros disueltos en el agua van acompañados siempre de yoduros y bromuros, y como

estas últimas sales administradas diariamente, aunque en proporciones en extremo pequeñas, pueden producir en el organismo acciones enérgicas, se deduce que es de la mayor importancia la determinación rigurosa de los cloruros, yoduros y bromuros en las aguas potables.

Influencia de los álcalis, la alúmina, el óxido ferroso y la sílice.—Entran, por lo general, todos estos cuerpos en tan pequeñas cantidades en la composición de las aguas potables, que no dan lugar á fenómenos importantes en la economía animal ni en los usos domésticos.

Conclusiones.—Por lo que precede se ve que la análisis química no ha conseguido todavía resolver clara y decididamente los importantes problemas que se refieren á la higiene de las aguas potables. Por desgracia, hoy día no bastan los métodos analíticos que se conocen para declarar si una agua es de buena calidad; para asegurarlo, es preciso que una información previa demuestre que las personas que la beben no encuentran ningún inconveniente en su uso y que, por esa causa, no se ha alterado en lo más mínimo su constitución ni su salud.

Las consecuencias más importantes que pueden deducirse de todo lo dicho, son: que, en general, las sales disueltas en el agua son perjudiciales; que sólo debe admitirse en una agua potable una milésima de sales de calcio en disolución, y que únicamente el bicarbonato cálcico puede considerarse, si se halla en pequeñas proporciones, como útil para las funciones digestivas.

Se añadirán dos palabras acerca de este último punto. Dupasquier explica de la siguiente manera la acción favorable del bicarbonato. El carbonato cálcico es casi insoluble en el agua pura, pero puede disolverse si hay un exceso de anhidrido carbónico, que es precisamente lo que sucede en las aguas potables que lo contienen. Al absorber el carbonato mayor cantidad de anhidrido, pasa al estado de bicarbonato y obra en el estómago como los bicarbonatos alcalinos, que son la base de las pastillas de Vichy, empleadas para excitar las funciones digestivas. El bicarbonato cálcico de las aguas potables se descompone, como los bicarbonatos de potasio y sodio, por los ácidos gástricos y se desprende el anhidrido carbónico, cuya acción es bien conocida.

El eminente Ingeniero Dupuit, admitiendo la teoría de Dupasquier, cree que no pueden tomarse sus consecuencias con la generalidad que les atribuye su autor. Se funda en que sólo una parte del agua consumida por cada persona, se toma sin haberla calentado previamente, y en que la restante recibe la influencia del calor, ya para preparar otras bebidas, ya para cocer alimentos. Es claro que en este segundo caso, la mitad del anhidrido carbónico del bicarbonato se desprende, y por tanto, no puede producir fenómeno alguno favorable ni desfavorable en el organismo; el carbonato cálcico formado, se precipita y sus efectos en la economía tienen que ser perjudiciales. Parece muy racional y en extremo acertada la opinión de Dupuit, debiendo añadir además, que no es evidente ni mucho menos que convenga excitar las funciones digestivas de las personas que no padezcan enfermedad alguna. Boutron y Boudet, aseguran, por otra parte, que el agua que contiene 77 centigramos de bicarbonato de calcio, por litro, no se presta al empleo del jabón en el lavado.

AGUAS EMPLEADAS EN RIEGOS.

Las cualidades que deben tener las aguas usadas para riegos, dependen naturalmente de la clase de terrenos y cultivos á que se destinen. En general, para una tierra determinada, la mejor agua es la que contiene los principios de que carece aquella; así, por ejemplo, las aguas ricas en cal, podrán ser muy ventajosas en un terreno arcilloso y detestables en otro calizo; en cambio, serán muy convenientes para este último las aguas en que abunde la potasa.

Aparte de la insuficiencia actual de las análisis químicas, es claro que las calidades de las aguas propias para riegos, nunca podrán fijarse de una manera absoluta, puesto que variarán con la naturaleza de los terrenos á que hayan de aplicarse y con la clase de frutos que se cultiven.

Hay, sin embargo, algunas aguas que desde luego pueden considerarse como de malas condiciones para riegos. Tales son: 1.ª, las que provienen de marjales ó sitios pantanosos, que encierran principios ácidos y astringentes, que las hacen muy perjudiciales para la vegetación; 2.ª, las que son muy frías; 3.ª, las que contienen un exceso de sales cálcicas, que producen en las tierras incrustaciones

desfavorables para el cultivo. Todas estas aguas pueden mejorarse, y se mejoran en la agricultura, por procedimientos diversos.

Se terminará lo relativo á esta aplicación de las aguas, manifestando que con mucha frecuencia puede prescindirse de la análisis química de las mismas, ateniéndose á las indicaciones suministradas por la práctica, acerca de los vegetales que se desarrollan en el agua, según su naturaleza.

AGUAS EMPLEADAS
EN LA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS DE MÁQUINAS DE VAPOR.

Estas aguas deben satisfacer á la condición de no tener sales en disolución, susceptibles de formar incrustaciones peligrosas. Se explicará en seguida en qué consisten éstas, pero se habrá de entrar en algunos detalles y considerar la cuestión con más generalidad, pues las incrustaciones, no sólo tiene que estudiarlas el Ingeniero en las calderas de las máquinas de vapor, sino en los acueductos y cañerías destinadas á la conducción y distribución de aguas.

OBSERVACIONES
SOBRE LAS PROPIEDADES INCRUSTANTES DE LAS AGUAS.

Incrustaciones en las cañerías.—Algunos autores admiten como norma general que toda agua que contenga por litro más de 25 centigramos de materias sólidas en disolución, debe dar lugar á concreciones calizas. Esta regla empírica ha sido desmentida por la experiencia, como no podía menos de suceder; se citan, en efecto, aguas que no sólo encierran más de 25 centigramos de sales disueltas, sino una cantidad de carbonato de calcio superior á ese guarismo, que no han incrustado nunca las cañerías; por el contrario, existen aguas muy incrustantes, en las que las proporciones de sales en disolución no llegan á la señalada como límite.

Para prever si una agua será ó no incrustante, es preciso tener en cuenta, además de las cantidades de sales fijas que encierra, la naturaleza de estas substancias, y sobre todo, por las razones que se expondrán, la presencia ó ausencia de anhidrido carbónico libre.

El agua privada de aquel gas apenas disuelve, á la temperatura or-

dinaria, de 4 á 6 centigramos de carbonato cálcico, por litro; pero si encierra en disolución el anhidrido, necesita para saturarse dosis mucho más considerables. Para convencerse de ello experimentalmente, basta hacer llegar gas carbónico á una vasija con agua, que tenga en suspensión caliza muy dividida; se observa que entonces el líquido disuelve con mucha facilidad de 80 centigramos á un gramo de sal, por litro.

El carbonato de calcio disuelto en una agua potable puede, pues, considerarse dividido en dos partes: la primera, que no excede de $\frac{1}{16.000}$ del peso del agua, está simplemente disuelta en el líquido y no tiende á precipitarse; la segunda se conserva disuelta por la acción del anhidrido carbónico, se halla en estado de bicarbonato, y se precipita en cuanto no existe en el líquido bastante gas para mantenerla en disolución. Y efectivamente, si se coloca en el vacío, ó se hace hervir algún tiempo, una agua que encierre más de 6 centigramos de carbonato cálcico, se observa en seguida desprendimiento de anhidrido carbónico y precipitación de la sal. Todos estos fenómenos se apuntaron ya, pero se ha creído conveniente insistir, para facilitar la cabal inteligencia de lo que sigue.

Se deduce inmediatamente de lo expuesto, que todas las circunstancias que favorezcan el desprendimiento del anhidrido carbónico del agua, tenderán á determinar depósitos ó incrustaciones de carbonato cálcico, y los producirán, en efecto, siempre que la proporción de gas que quede en el líquido no sea suficiente para conservar disuelto el carbonato contenido en el agua.

Las causas que contribuyen al desprendimiento del anhidrido carbónico son varias, y explican satisfactoriamente la mayor parte de las incrustaciones que hasta ahora se han observado. Entre dichas causas pueden enumerarse las siguientes: 1.ª, la agitación del líquido, que produce choques reiterados del agua con los cuerpos sólidos de la proximidad; así es que cerca de la puerta de algunas esclusas, agua-abajo de las ruedas de los molinos, cerca de las caídas de agua, etc., se encuentran con bastante frecuencia incrustaciones calizas; 2.ª, la diminución de la presión que sufre el líquido en algunas cañerías, como también su circulación en pequeñas masas por tubos ó acueductos en que el aire puede renovarse, arrastrando sin

cesar el anhidrido carbónico, que tiende á desprenderse por el roce del agua con las paredes más ó menos rugosas de aquellos; 3.ª, ciertos vegetales acuáticos, cuyas partes verdes descomponen el anhidrido carbónico del agua, determinando á menudo abundantes incrustaciones; 4.ª, acciones eléctricas, que producen el mismo resultado; así, por ejemplo, una placa de plata, puesta en contacto con un tubo de hierro fundido ó de plomo, en una agua que encierre bicarbonato cálcico, se cubre rápidamente de una incrustación de carbonato neutro, dirigiéndose la molécula sobrante de gas carbónico al metal más electro-positivo: el cobre, el latón, las soldaduras, la misma heterogeneidad de las masas metálicas bastan para constituir pares eléctricos de mayor ó menor energía, que acusan con intensidad variable el mismo fenómeno; 5.ª, el diferente grado de temperatura, pues es sabido que el agua puede disolver tanto más gas, cuanto menos elevada sea aquella.

Por consiguiente, la formación del depósito calizo depende, no sólo de la cantidad absoluta de sal disuelta, sino muy en particular de la proporción de anhidrido carbónico que encierra el líquido, sobre la estrictamente necesaria para hacer soluble el carbonato cálcico en el agua que se considere. Si dicha proporción es nula ó muy pequeña, el depósito empieza á formarse al menor desprendimiento de gas; si, al contrario, es considerable, el agua puede estar en agitación más ó menos tiempo, antes de que pierda bastante anhidrido carbónico para que se manifiesten las incrustaciones. Se concibe, por tanto, la posibilidad de evitarlas por completo, pues bastaría introducir en las cañerías, de una manera continua y regular, el anhidrido carbónico necesario para impedir la precipitación del carbonato.

En ciertos tubos de conducción se observa que las concreciones no son de carbonato cálcico puro. Esto sucede en algunas cañerías de la distribución de aguas de París, en las que se ha reconocido que las incrustaciones encierran de 5 á 6 por 100 de una materia orgánica nitrogenada, que forma con la caliza un aglomerado de gran compacidad y difícil de separar de las superficies á que está adherido.

Incrustaciones en las calderas.—La alimentación de las calderas da lugar á observaciones análogas. Cada kilogramo de vapor, que se escapa de una caldera, deja en ella una cantidad de materia sólida, igual al peso de las substancias disueltas en un litro del líqui-

do empleado. Los inconvenientes de esta acumulación de substancias dependen de su naturaleza, más bien que de sus proporciones absolutas. Así, por ejemplo, si los cuerpos se disuelven, como sucede con las sales alcalinas, ó forman depósitos fangosos, no producen en realidad malas consecuencias, aun cuando aquellos sean muy abundantes, pues todo se reduce á vaciar y limpiar de cuando en cuando la caldera. Por el contrario, aguas poco cargadas de materias fijas, pero que den lugar á incrustaciones sólidas, son extraordinariamente perjudiciales y hasta peligrosas.

Las bases ordinarias de estos depósitos son la cal y la magnesia, mas las incrustaciones se producen de diverso modo, según la naturaleza del ácido combinado con dichos óxidos.

Se admite en general, como ya se ha manifestado, que el agua puede disolver, por litro, de 4 á 6 centigramos de carbonato cálcico neutro, y una cantidad mayor cuando existe en el líquido anhidrido carbónico. Esta segunda parte del carbonato se deposita, en forma de polvo, cuando la ebullición ha hecho que se desprenda suficiente volumen de gas, pero tiene poca tendencia á agregarse, y por consiguiente, no presenta grandes inconvenientes. En cuanto al carbonato neutro que queda en el líquido, su solubilidad va disminuyendo con el aumento de la temperatura, es nula á 150°, y desde ese punto se precipita la sal en estado pulverulento. Finalmente, la parte de carbonato cálcico que se precipita, á causa de la evaporación del agua y de saturarse el líquido que queda en la caldera, tiende á depositarse en capas cristalinas adherentes. La experiencia ha demostrado, sin embargo, que estas capas son menos abundantes á igualdad de circunstancias, cuando se emplean aguas que abandonan gran proporción de carbonato por el desprendimiento del anhidrido carbónico, que cuando las aguas sólo encierran en disolución el carbonato neutro. Se llega, pues, así al resultado paradójico á primera vista, de que respecto á las incrustaciones de carbonato cálcico, es preferible emplear aguas un poco cargadas de esa sal, y que no contengan otras, á hacer uso de aguas muy puras: la razón, ya se ha indicado, consiste simplemente en que aquellas aguas podrán dar lugar á depósitos mucho más abundantes que éstas, pero que serán menos adherentes.

Las aguas ricas en sulfato cálcico, son por desgracia muy comu-

nes y ocasionan las incrustaciones más graves. El sulfato de calcio es bastante soluble en agua fría, pero su solubilidad disminuye con el aumento termométrico, anulándose hacia 200°. Una parte de la sal se deposita, pues, rápidamente por el solo hecho de la elevación de temperatura, y uniéndose al sulfato depositado por la evaporación, forma costras que se adhieren á las paredes de la caldera, y que en muchas ocasiones presentan gran dureza. Estas costras son cristalinas ó amorfas, según el punto de la caldera en que se depositan; una misma suele presentar los dos aspectos. Las próximas al metal de la caldera, pierden su agua de cristalización, á causa del calor á que se hallan expuestas, y son por consiguiente amorfas: al contrario, las capas recién depositadas están aún hidratadas y en forma de cristales.

Si el agua contiene carbonato cálcico, al mismo tiempo que sulfato, como sucede casi siempre, el carbonato, que por sí solo no da lugar en general, á depósitos muy temibles, se precipita sobre la superficie rugosa del sulfato, se encuentra comprendido al poco tiempo, entre dos capas consecutivas de yeso, á las que se adhiere con fuerza. Por último, si el agua encierra magnesia, esta base se agrega á la masa y forma cuerpo con el depósito.

Las explicaciones precedentes demuestran la conveniencia de que los químicos estudien con el mayor detenimiento las aguas, para poder sacar consecuencias más terminantes de las que ahora se conocen, respecto á la alimentación de las calderas de máquinas de vapor.

ENSAYOS RÁPIDOS DE AGUAS.

No es posible explicar aquí detenidamente las análisis de las aguas, que se encuentran en la naturaleza; tales investigaciones son en extremo delicadas y requieren profundos conocimientos de Química; y aparte de estas razones, rarísimas veces podrá llevar á cabo el Ingeniero de Caminos unas análisis, para las que son indispensables aparatos de que no se puede disponer, por lo general, en el servicio de Obras públicas. En su consecuencia, se limitará el estudio: 1.°, á exponer ensayos rápidos para reconocer la presencia ó ausencia de las substancias, que más influyen en la calidad de las aguas potables;

2.°, á explicar el modo de comparar entre sí las aguas empleadas en la alimentación de calderas; y 3.°, á dar á conocer los procedimientos *hidrotimétricos*, que tienen importancia grande para el Ingeniero.

AGUAS POTABLES.

Determinación de los gases disueltos.—Se sabe ya que las aguas potables encierran siempre en disolución los elementos del aire atmosférico, esto es, oxígeno, nitrógeno y anhidrido carbónico, aparte de otros gases que pueden contener, si bien en proporciones muy pequeñas. El volumen total de todos ellos puede determinarse con mucha facilidad. Basta, en efecto, hacer hervir el agua en un matraz, de cuyo tapón salga un tubo de desprendimiento que conduzca los gases á una campana colocada en una pila de mercurio. El matraz debe estar enteramente lleno de agua, y el extremo del tubo que atraviesa el corcho, ha de enrasar con la superficie inferior de éste, de manera que al tapar la vasija se obligue al agua á que desaloje todo el aire y llene el tubo. Desde la primera impresión de calor, se escapan burbujas de gas, que se recogen en la campana; el desprendimiento cesa después de algunos minutos de ebullición. Representando por V el volumen gaseoso que se recoja, medido con las precauciones ordinarias; por H la altura de mercurio, en milímetros, correspondiente á la presión atmosférica en el momento en que se ha verificado la observación; por t, la temperatura en el mismo instante; y por f la tensión máxima del vapor de agua, en esas circunstancias, valuada en milímetros de mercurio; el volumen gaseoso V', á la temperatura de 0° y á la presión de 760 milímetros, será:

$$V' = V \frac{1}{1 + 0,00367t} \frac{H - f}{760}.$$

Si el agua sólo tuviese en disolución oxígeno y nitrógeno, fácilmente se deduciría el peso disuelto de cada uno de esos gases, hallado que fuese V' y conocidas las fracciones que miden la solubilidad de ambos cuerpos. Pero el agua contiene casi siempre anhidrido carbónico y es preciso separar este gas de los otros; se consigue por medio de una disolución de potasa, que absorbe el anhidrido carbónico y no ejerce acción sobre los otros dos. Determinando como antes el volumen del residuo gaseoso, se conocerán las cantidades de oxígeno y nitrógeno, pudiendo hallar la de anhidrido carbónico, por diferencia. Se prescinde de los demás gases, que pueden estar disueltos, porque su completa obtención sale fuera del programa de este libro, y porque existen, según se ha indicado, en proporciones insignificantes en las aguas potables.

En las análisis delicadas, la extracción de los gases no se verifica á la temperatura de ebullición, sino á una inferior á 50°, para lo cual basta operar bajo una presión pequeña, empleando aparatos especiales.

Determinación de las substancias fijas disueltas.—Se ha dicho anteriormente, que casi todas las aguas potables contienen bicarbonato de calcio, y que algunos autores pretenden que su presencia en pequeñas dosis, es favorable. Para ver si realmente existe esa sal, no hay más que añadir al agua una gota de tintura alcohólica de palo campeche, que producirá en caso afirmativo, un color violado, debido á la combinación de la materia colorante *(hematina)* con la cal. Si el agua contiene mucho carbonato, la coloración aparece inmediatamente.

Puede conocerse también, si el agua encierra carbonato cálcico en abundancia, en que haciéndola hervir se enturbiará, determinando un precipitado de carbonato neutro.

La presencia de los cloruros y de los sulfatos alcalinos, cálcicos ó magnésicos, se acusará vertiendo sucesivamente, sobre el agua, una pequeña cantidad de sales solubles de plata y de bario, que formarán precipitados tanto más voluminosos, cuanto mayores sean las proporciones en que entren aquellos cuerpos.

El reactivo empleado para poner en evidencia las materias orgánicas, es el cloruro de oro, $AuCl^3$: si algunas gotas de la disolución de este cuerpo comunican al agua un color amarillo, inalterable por la ebullición, se puede deducir que el agua no encierra materias orgánicas, en cantidades sensibles; si al contrario, el líquido toma un tinte violado y se enturbia, esta reacción denotará la presencia de un exceso de materias orgánicas, que reducen el oro al estado metáli-

co (1). La coloración violada se debe á partículas de oro, extraordinariamente divididas, que se conservan en suspensión en el líquido.

Otro medio de reconocer si hay exceso de materias orgánicas, consiste en evaporar el líquido hasta la sequedad y someter el residuo á un fuerte calor, pues en el caso de ser considerable la proporción de aquellas substancias, se obtiene, después de todas las operaciones, una masa negra ú obscura. Para que los resultados sean exactos, debe hacerse la evaporación en el vacío, pues la temperatura de 100° y la presencia del oxígeno, alteran profundamente y hasta llegan á destruir la mayor parte de las materias orgánicas.

Bastan las ligerísimas indicaciones que se han apuntado; sólo se añadirá que los cuerpos fijos disueltos en el agua, pueden determinarse con más exactitud por el procedimiento que se expone á continuación, y que se aplica sobre todo al ensayo de las aguas usadas en las calderas.

AGUAS EMPLEADAS EN LA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS DE MÁQUINAS DE VAPOR.

Para la comparación de las aguas empleadas en la alimentación de calderas de máquinas de vapor, el ensayo que se verifica suele reducirse á evaporar en una cápsula grande de porcelana, por medio de una ebullición lenta, 4 litros á lo menos del agua que se va á examinar. Cuando el volumen del líquido se ha reducido próximamente á la mitad, se separan, por filtración ó decantación, las sales térreas que se hayan precipitado y que estaban en disolución, merced al anhidrido carbónico contenido en el agua. Se seca y pesa el precipitado, que se compone casi siempre, en gran parte, de carbonato cálcico, y que por tanto, se puede analizar con bastante exactitud, siguiendo las prescripciones establecidas para ensayar calizas.

Se evapora hasta la sequedad el líquido, ya separado de las sales térreas, secando y pesando el residuo obtenido, que en la mayoría de las aguas ordinarias, es una mezcla de sulfato y carbonato cálcicos y de óxido de hierro. Su análisis puede efectuarse por los métodos descritos anteriormente, pero en las aplicaciones prácticas es casi siempre suficiente conocer su peso. La calidad del agua será tanto mejor, á igualdad de las demás circunstancias, cuanto más pequeño sea aquel.

(1) Suponiendo, para fijar las ideas, que la materia orgánica sobre que actúe el cloruro de oro sea el ácido oxálico, la reacción que se verifica es la siguiente:

$$2\,AuCl^3 + 3\left[\begin{matrix}C^2O^{2''}\\ H^2\end{matrix}\right\}O^2\Big] = 6CO^2 + 6HCl + \left.\begin{matrix}Au'''\\ Au'''\end{matrix}\right\}.$$

HIDROTIMETRÍA.

Principios y exposición del sistema.—La *hidrotimetría*, ó método volumétrico para ensayar rápidamente las aguas, es de la mayor importancia para el Ingeniero, por cuya razón se expondrá con algunos detalles, tomados del folleto publicado por Boutron y Boudet, introductores del sistema en Francia.

Estos químicos han partido de las curiosas observaciones del doctor Clark, sobre el empleo de la tintura alcohólica de jabón para medir la *crudeza* de las aguas. El método está fundado en la propiedad que posee el jabón, de producir desde luego espuma persistente en el agua pura, que no aparece en las cargadas de sales térreas, hasta que descompuestas y neutralizadas éstas, por una cantidad equivalente de jabón, quede un pequeño exceso de dicho cuerpo en el líquido. Como la crudeza de una agua es sensiblemente proporcional á las sales térreas que contiene, claro es que la tintura de jabón que se necesite para producir la espuma persistente, puede medir la crudeza del líquido.

La formación de la espuma, en la superficie del agua, es un fenómeno tan aparente, la cantidad de jabón que se necesita para producirlo es tan pequeña (1 decigramo por litro), y tan fácil de notar el momento en que una agua cargada de sales cálcicas ó magnésicas, cesa de neutralizar el jabón y empieza á presentar la espuma, que la disolución alcohólica de jabón puede considerarse como un reactivo extraordinariamente sensible para la dosificación de las mencionadas sales en líquidos muy diluídos, como lo son las aguas de corrientes naturales.

Se hará observar de una vez para todas, que para que aparezca la espuma en una agua pura ó cuyas sales se hayan ya neutralizado,

basta agitarla, después de mezclada con la disolución alcohólica de jabón.

Se prepara el reactivo, disolviendo 100 gramos de jabón muy blanco en 1.600 de alcohol (1); se calienta la mezcla hasta la ebullición; se filtra para separar todas las materias insolubles; se añade á la disolución filtrada 1 kilogramo de agua destilada, obteniendo así muy cerca de 2.700 gramos de un líquido, cuya energía es preciso determinar (2).

Para ello se emplean los mismos aparatos que sirven para deducir la crudeza del agua, los cuales consisten: 1.°, en una probeta para ensayos volumétricos, que recibe el nombre de *hidrotímetro*, y 2.°, en un frasco de tapón esmerilado, en cuya superficie están marcadas las divisiones correspondientes á los volúmenes de 10, 20, 30 y 40 centímetros cúbicos.

El hidrotímetro está representado en la figura 512, y como ya se ha dicho, no es más que una probeta, que si bien no tiene la forma de ninguna de las que se han dado á conocer, no es preciso describirla, pues basta la inspección del dibujo para la perfecta inteligencia. Claro es que por la especie de embudo *a* debe verterse el reactivo, y que por la punta *b* puede hacerse salir y caer, con la lentitud que se desee, sobre el agua que se va á ensayar, colocada en el frasco de que se ha hecho mención en el párrafo precedente.

La graduación de la probeta está hecha de tal modo, que una capacidad de $2^{cm^3},4$, contada desde una línea circular marcada en la parte superior de la probeta, quede dividida en 23 partes iguales. Á partir de la sección que corresponde á los $2^{cm^3},4$ hasta el extremo inferior, las divisiones son exactamente iguales á las primeras. Cada una de ellas representa *un grado hidrotimétrico*, pero el cero se marca en la segunda división, aunque para todos los ensayos se debe llenar la probeta de reactivo hasta la primera. La explicación de esta particularidad es sencilla: los experimentos se verifican siempre en 40^{cm^3} de agua, y sea cual fuere la composición de ésta, se la considera como formada de aquel volumen de agua pura y de una proporción variable de materia susceptible de descomponer el jabón. La experiencia ha demostrado que, admitiendo para el reactivo la energía señalada por Boutron y Boudet, que en seguida se dará á conocer, 40^{cm^3} de agua pura exigen un volumen de reactivo medido por una división de la probeta, para adquirir cierta viscosidad y producir espuma persistente. La primera división se reserva, pues, á fin de que las siguientes puedan representar única y realmente la cantidad de jabón descompuesta por las substancias disueltas en el agua.

(1) El alcohol empleado debe tener 90 por 100 de alcohol puro y 10 por 100 de agua.

(2) Antes de filtrar el líquido conviene dejarlo reposar algunos días, agitándolo de vez en cuando.

La disolución alcohólica de jabón debe tener la energía necesaria para que las 23 divisiones de la probeta, comprendidas entre la línea circular superior y la núm. 22, esto es, 22 grados efectivos, produzcan espuma persistente en 40^{cm^3} de una disolución acuosa de cloruro cálcico fundido, que contenga $\frac{1}{4.000}$ de su peso de sal, es decir, 25 centigramos de cloruro, por litro de agua destilada. Por consiguiente, para determinar la energía del reactivo preparado, según se ha dicho antes, no habrá más que llenar de él el hidrotímetro y ver cuántas divisiones hay que gastar para producir espuma persistente en la disolución normal de cloruro cálcico. Si el número de grados que se observe es 22, la disolución de jabón tendrá exactamente la composición que se requiere; si fuere inferior, se diluirá el líquido en una nueva cantidad de agua, teniendo presente que se necesita añadirle $\frac{1}{23}$ de su peso de agua destilada para aminorar la energía en 1°; finalmente, si el número hallado excediese de 22, se concentraría la disolución. En cualquiera de los dos últimos casos, hay que hacer nuevos ensayos, hasta obtener el grado de dilución conveniente.

La disolución normal de cloruro cálcico contiene 25 centigramos de sal, por litro de agua, ó lo que es lo mismo, 1 centigramo de cloruro por 40^{cm^3} de agua. De aquí se deduce: 1.°, que 22° de disolución de jabón se neutralizan por 1 centigramo de cloruro; 2.°, que un grado corresponde á $\frac{0^{gr.},01}{22} = 0^{gr.},00045$ de esa sal, y 3.°, que cada grado de reactivo neutralizado por 40 centímetros cúbicos de di-

solución normal, representa $\frac{0^{gr.},01 \times 25}{22} = 0^{gr.},0114$ de cloruro de calcio, en un litro de la misma disolución. Como es posible apreciar con aproximación de medio grado el momento en que se produce espuma persistente en la superficie de una disolución, resulta: 1.°, que el reactivo puede acusar $\frac{0^{gr.},00045}{2}$, es decir, menos de un cuarto de miligramo de cloruro de calcio en 40 gramos de agua; 2.°, que operando en 40^{cm^3} de una disolución de cloruro de calcio, se puede reconocer con aproximación de $\frac{0^{gr.},0114}{2} = 0^{gr.},0057$, es decir, con diferencia de 5 á 6 miligramos, la proporción de cloruro contenido en un litro de la disolución.

Por otra parte, si se admite para peso molecular del jabón empleado el núm. 1.052, que es el que resulta para el jabón de Marsella de las análisis verificadas por Thenard, se tendrá, recordando que el peso molecular del cloruro cálcico es 111, que $\frac{1052 \times 0^{gr.},25}{111} = 2^{gr.},324$ de jabón equivaldrán á $0^{gr.},25$ de cloruro de calcio. De aquí se deduce, que 1 litro de la disolución normal, que contiene 25 centigramos de aquel cuerpo, neutralizará 23 decigramos de jabón. Pero como la graduación de la probeta se ha calculado de manera que, operando en 40^{cm^3} de disolución normal, correspondan 22° á la producción de espuma persistente, se puede admitir que cada grado hidrotimétrico representa $\frac{2^{gr.},324}{22} = 0^{gr.},106$ de jabón, neutralizado por un litro de la disolución. Para mayor sencillez, siempre que no se trate de investigaciones muy delicadas, puede decirse que cada grado equivale á 1 decigramo de jabón. Resulta, por tanto, que dispuestas, como se ha explicado, las divisiones del hidrotímetro y la composición de la disolución alcohólica, cabe determinar inmediatamente, actuando en 40^{cm^3} de una disolución acuosa de cloruro de calcio, la proporción de cloruro contenido en 1 litro de disolución, y la cantidad de jabón que neutraliza el mismo volumen de líquido.

Es evidente, por otra parte, que una disolución de una sal de calcio, magnesio, bario ú otro metal susceptible de formar compues-

tos insolubles con los ácidos del jabón, podría analizarse por medio del mismo reactivo, con igual sencillez que una disolución de cloruro de calcio, pues no ofrecería ninguna dificultad la formación de una tabla que diera la cantidad de cada una de dichas sales, por litro de líquido, correspondiente á un grado hidrotimétrico. Los diferentes guarismos se determinarían por simples operaciones aritméticas.

Si en lugar de una disolución de cloruro cálcico se sometiese al experimento el agua de una corriente natural que contuviera, como casi siempre sucede, sales de calcio y de magnesio, el número de grados hidrotimétricos observado, representaría á la vez las proporciones de cloruro de calcio y de jabón neutralizado, equivalentes á aquellas sales, por litro del agua examinada.

Para obtener tales resultados, todo está reducido á observar rápidamente cuántos grados hidrotimétricos de reactivo se necesitan para producir espuma persistente en 40^{cm^3} de agua. Suponiendo, para fijar las ideas, que una agua haya dado el grado 20, este guarismo hará conocer: 1.°, el número de orden que correspondería al líquido ensayado en una clasificación metódica, que tuviese por punto de partida el agua pura, representada por 0°; 2.°, la proporción de cloruro de calcio *equivalente*, desde el punto de vista químico, á las sales cálcicas y magnésicas, contenidas en un litro de agua, que sería $0,0114 \times 20 = 0^{gr.},228$; 3.°, la cantidad de jabón (20 decigramos) que neutralizaría un litro de agua.

Por medio del hidrotímetro pueden verificarse ensayos mucho más completos que los explicados, pero que no se detallarán, porque de ordinario la dosificación de substancias no se hace nunca por este medio.

Marcha general de las operaciones.—ENSAYO PRELIMINAR.—Cuando se quiere ensayar una agua cualquiera, se empieza por introducir una pequeña cantidad de ella, 20 ó 25 gramos, en un vaso, añadiendo un centímetro cúbico de líquido hidrotimétrico. Si después de agitada con una varilla de vidrio, toma el agua un color de ópalo, sin coagularse, se verifica el ensayo definitivo, como en seguida se dirá.

En caso contrario, el agua estará demasiado cargada de sales cálcicas y magnésicas, para que se pueda ensayar en su estado natural:

es necesario entonces mezclarla con suficiente cantidad de agua destilada, para que el grado del líquido resultante sea inferior á 50. Al agua que se examina se le añade, según los casos, una, dos ó más veces su volumen del mismo líquido destilado, teniendo cuidado de multiplicar por 2, 3, etc., respectivamente, el grado hidrotimétrico que se deduzca para la mezcla.

Sucede algunas veces que el agua destilada no es perfectamente pura y exige más de una división de la probeta para producir espuma persistente; por tanto, cuando haya que mezclarla con el agua que se va á ensayar, conviene someterla á un experimento previo, y tener en cuenta el grado que se observe. Se concibe, en efecto, que si una agua destilada, en lugar de producir espuma persistente á 0°, neutralizara 2 ó 3 divisiones de reactivo, haría asignar al agua que se examina 1 ó 2 grados de más, cuyas cifras multiplicadas por el número correspondiente, según los volúmenes de agua destilada invertida, alterarían considerablemente la exactitud de los resultados.

Otra observación, también muy importante, debe hacerse respecto al líquido hidrotimétrico. La energía constante de éste es la condición fundamental de los ensayos, y como es posible que experimente alguna variación con el tiempo, conviene comprobarla antes de emprender una serie de ensayos, bien por medio de la disolución normal de cloruro de calcio fundido, en la proporción de $0^{gr.},25$ por litro de agua, bien por una disolución de $0^{gr.},59$ de nitrato de bario en otro litro de agua. Para producir espuma permanente en cualquiera de ellas, deben necesitarse 22° de reactivo.

Ensayo definitivo.—Para hacer el ensayo de una agua, se introducen 40^{cm^3} de ella en el frasco de experimentos; se llena de reactivo el hidrotímetro y se vierte poco á poco sobre el agua, examinando de cuando en cuando si produce por la agitación una espuma ligera y persistente. Esta espuma debe formar en la superficie del agua una capa regular de más de medio centímetro de espesor y conservarse, á lo menos por espacio de diez minutos, sin disminuir. El grado que se observe en el hidrotímetro cuando se haya obtenido la espuma, representa el grado hidrotimétrico del agua ensayada. No se debe verificar la lectura del número de divisiones hasta el momento en que el líquido adherido á las paredes de la probeta haya deslizado por completo á lo largo de las mismas.

El grado hidrotimétrico de una agua, representa: 1.°, el número de decigramos de jabón que neutraliza ésta por litro; y 2.°, la medida de su pureza ó el lugar que le corresponde en la escala hidrotimétrica.

Estos resultados bastan en muchos casos, para reconocer si una agua es ó no aplicable á ciertos usos.

CÁLCULO Y MODO DE PRESENTAR LAS ANÁLISIS.

En todo lo que precede se han expuesto los métodos para analizar ó ensayar las substancias que más frecuentemente tiene que emplear el Ingeniero; pero para que queden completos, es preciso decir algo, siquiera sea poco, sobre el cálculo de las análisis. En efecto, se indicó al principio, y se habrá visto confirmado en los diversos ejemplos presentados, que los cuerpos no se dosifican casi nunca en el estado en que se encuentran en combinación, y que es preciso reducir los resultados de las análisis á la forma que corresponda. Se examinarán sucesivamente las operaciones analíticas *directas* é *indirectas*.

ANÁLISIS DIRECTAS.

Dosificado un cuerpo cualquiera en cierto estado, se puede calcular con la mayor facilidad el peso correspondiente á la combinación de que aquel forme parte en la substancia que se analiza, bastando para ello conocer las fórmulas químicas del cuerpo que se ha pesado y del que se busca, y los pesos atómicos de sus elementos constitutivos. Un ejemplo dará á conocer la marcha, mucho mejor que pudieran hacerlo largas explicaciones.

Supóngase que la análisis de una caliza, verificada por el método general, haya dado el siguiente resultado, relativo á dos gramos de materia, después de haber deducido las cenizas de los filtros:

Arcilla	$0^{gr.},240$
Anhidrido férrico	0 , 120
Cal viva	0 , 794
Pirofosfato magnésico	0 , 270

En cuanto á la arcilla y al anhidrido férrico, nada hay que advertir, puesto que esos cuerpos se hallan en el mismo estado en la caliza; pero si se ha visto que la cal y la magnesia entran sólo en carbonatos, será necesario ver á qué pesos de carbonatos de calcio y magnesio corresponden respectivamente 0gr.,794 de cal viva y 0gr.,270 de pirofosfato magnésico.

Se empezará por la cal, cuya fórmula química es CaO, y por tanto, su peso molecular $40 + 16 = 56$. El carbonato cálcico tiene por fórmula $CaCO^3$, y por peso molecular $40 + 12 + 3 \times 16 = 100$. De aquí se deduce que 100 partes de carbonato cálcico contienen 56 de base, y que, por consiguiente, 1 gramo de cal representará $\frac{100}{56} = \frac{25}{14} =$ 1gr.,7857 de carbonato. Se tendrá, pues, que 0gr.,794 de cal corresponderán á 0gr.,794 $\times$ 1,7857 = 1gr.,418 de carbonato.

Del mismo modo, el peso molecular del pirofosfato magnésico, $Mg^2P^2O^7$, será $2 \times 24 + 2 \times 31 + 7 \times 16 = 222$, y el del carbonato de magnesio, que encerrará la misma cantidad de metal, $2\,(MgCO^3)$, será igual á $2\,(24 + 12 + 3 \times 16) = 168$. Por tanto, en 1 gramo de pirofosfato magnésico entrará el mismo peso de base que en $\frac{168}{222} = \frac{28}{37} =$ 0gr.,7568 de carbonato. De manera que 0gr.,270 de la primera materia representarán 0gr.,270 $\times$ 0,7568 = 0gr.,204 de la segunda.

Resta deducir el peso del agua contenida en la caliza, que será igual al peso de ésta, menos la suma de los pesos de los elementos hallados, esto es, 2gr. — (0,240 + 0,120 + 1,418 + 0,204) = 2gr. — 1gr.,982 = 0gr.,018.

Por consiguiente, en 2 gramos de la caliza propuesta entran las substancias siguientes:

Arcilla	0gr.,240
Anhidrido férrico	0 , 120
Carbonato cálcico	1 , 418
Carbonato magnésico	0 , 204
Agua	0 , 018
TOTAL	2 , 000

Pero al presentar los resultados de la análisis, además de los datos anteriores, se consigna la composición de 100 partes de la substancia ensayada. Esta nueva determinación no ofrece dificultad alguna, pues es claro que si en 2 gramos de caliza entran 0gr.,240 de arcilla, en 100 partes de aquella entrarán $\frac{0,24 \times 100}{2} = 12$. Operaciones análogas harían ver, en el caso actual, que 100 partes del cuerpo ensayado se componen de

12,00	de arcilla.
6,00	de anhidrido férrico.
70,90	de carbonato cálcico.
10,20	de carbonato magnésico.
0,90	de agua.
TOTAL..... 100,00	

En la práctica se simplifican mucho todos estos cálculos, con sólo tener á la vista una tabla de *multiplicadores químicos*, es decir, de los números por los que es preciso multiplicar los pesos de los cuerpos que se han hallado para obtener los de los que se buscan. Al final de este volumen se acompañan varias tablas, y en la segunda están consignados los multiplicadores que con más frecuencia tiene que usar el Ingeniero en las investigaciones químicas, figurando entre ellos los 1,7857 y 0,7568, que se han deducido antes para pasar respectivamente de los pesos de cal viva y pirofosfato magnésico á los de los carbonatos correspondientes.

Basta el ejemplo examinado, para comprender la marcha que habría que seguir en cualquier otro caso.

ANÁLISIS INDIRECTAS.

En lugar de pesar por separado, bajo la forma de una combinación cualquiera, los cuerpos que se trata de dosificar, se tiene que determinar algunas veces el peso indirectamente, pesando á la vez los dos compuestos y dosificando en seguida una de las partes constitutivas de su combinación común. Así, por ejemplo, se ha visto que cuando en

una disolución se tienen reunidas potasa y sosa, pueden dosificarse, pesándolas juntas, en estado de sulfatos ó cloruros, y determinando después la cantidad de ácido sulfúrico ó cloro, á cuyo fin se precipitan de la disolución estos cuerpos en estado de sulfato de bario ó de cloruro de plata respectivamente, por medio del cloruro bárico ó del nitrato argéntico. Supóngase, para fijar las ideas, que el peso de los dos sulfatos alcalinos sea P, y p el del ácido sulfúrico, y que se trate de determinar las cantidades x é y de potasa y de sosa.

Para ello, se empezará por determinar los pesos moleculares del ácido sulfúrico, de los álcalis y de los sulfatos correspondientes, que son los que se expresan á continuación:

Anhidrido sulfúrico ..	$SO^3 = 32 + 3 \times 16 = 80$
Potasa.............	$K^2O = 2 \times 39{,}1 + 16 = 94{,}2$
Sosa...............	$Na^2O = 2 \times 23 + 16 = 62$
Sulfato potásico......	$K^2SO^4 = 2 \times 39{,}1 + 32 + 4 \times 16 = 174{,}2$
Sulfato sódico.......	$Na^2SO^4 = 2 \times 23 + 32 + 4 \times 16 = 142$.

Una parte de potasa dará lugar á $\frac{1742}{942} = \frac{871}{471}$ de sulfato potásico, y x partes de aquel álcali á $\frac{871}{471}x$ de sulfato. Del mismo modo se vería que y partes de sosa formarán $\frac{142}{62}y = \frac{71}{31}y$ de sulfato sódico. Es, pues, evidente que deberá verificarse la siguiente ecuación:

$$\frac{871}{471}x + \frac{71}{31}y = P.$$

Además, de los pesos moleculares antes deducidos, se desprende que una parte de potasa se combina con $\frac{400}{471}$ de anhidrido sulfúrico, y una de sosa con $\frac{40}{31}$ del mismo ácido. Se podrá, por tanto, establecer esta otra ecuación:

$$\frac{400}{471}x + \frac{40}{31}y = p.$$

Nada más sencillo que calcular las dos cantidades x é y, que están determinadas por un sistema de dos ecuaciones de primer grado con dos incógnitas.

De una manera completamente análoga se procedería si los dos álcalis se hubieren pesado juntos en estado de cloruros.

MODO DE PRESENTAR LOS RESULTADOS DE LAS ANÁLISIS.

Aparte de presentar en un cuadro la composición de los 2, 3 ó 4 gramos que se hayan empleado en la análisis, así como también la correspondiente á 100 partes de la substancia, según se ha dicho antes, conviene acompañar una nota en que se den á conocer, con más ó menos detalles, las propiedades físicas del cuerpo examinado, la marcha seguida en la análisis, la naturaleza de los reactivos, los hechos observados, los experimentos de comprobación ó de cualquiera otra especie á que se haya recurrido, y en una palabra, todos los datos que se crean necesarios para hacer apreciar la exactitud que deba atribuirse al resultado, y para que sea posible repetir el ensayo en las mismas condiciones que la primera vez.

Cuando se analicen compuestos definidos, es indispensable deducir de su composición centesimal, la fórmula química del cuerpo; pero casi todas las substancias que tiene que ensayar el Ingeniero son mezclas más ó menos complejas, siendo muy raras las circunstancias en que haya necesidad de efectuar aquel cálculo.

Se terminará la segunda y última parte de este tratado, insertando á continuación cuatro tablas: la primera contiene los pesos atómicos de los cuerpos simples que entran en la composición de los materiales más usados, ó en la de los reactivos empleados para su análisis; la segunda, los multiplicadores químicos que se necesitan con más frecuencia; la tercera, la densidad, peso del litro y coeficiente de dilatación de algunos gases; y la cuarta, la densidad y coeficiente de varios líquidos.

Todas ellas tienen bastante aplicación.

NÚM. 1.

Tabla de los pesos atómicos de los cuerpos simples que entran en la composición de los materiales más usados y en la de los reactivos que se emplean para su análisis.

Nombres de los cuerpos.	Pesos atómicos.	Nombres de los cuerpos.	Pesos atómicos.
Hidrógeno	1	Plata	108
Cloro	35,5	Bario	137
Bromo	80	Estroncio	87,5
Yodo	127	Calcio	40
Fluor	19	Magnesio	24
Oxígeno	16	Cobre	63,5
Azufre	32	Zinc	65,2
Boro	11	Mercurio	200
Carbono	12	Plomo	207
Silicio	28	Cromo	52,2
Estaño	118	Manganeso	55
Nitrógeno	14	Hierro	56
Fósforo	31	Aluminio	27,5
Potasio	39,1	Oro	197
Sodio	23	Platino	197,5

Observación. Los pesos atómicos se han tomado de la obra de Naquet, titulada *Principes de Chimie* (3.ª edición).

NÚM. 2.

Tabla de los multiplicadores químicos más usados.

NOMBRES DE LOS CUERPOS QUE SE PESAN.	Fórmulas químicas.	Multiplicadores.	NOMBRES DE LOS CUERPOS BUSCADOS.	Fórmulas químicas.
Cloruro argéntico	AgCl	0,2474	Cloro	Cl.
Idem	Idem	0,2544	Ácido clorhídrico	HCl.
Idem	Idem	0,4077	Cloruro sódico	NaCl.
Idem	Idem	0,5199	Cloruro potásico	KCl.
Nitrógeno	N	1,2143	Amoniaco	NH^3.
Idem	Idem	4,5000	Ácido nítrico concentrado	HNO^3.
Idem	Idem	7,2214	Nitrato potásico	KNO^3.
Amoniaco	NH^3	0,8235	Nitrógeno	N.
Idem	Idem	3,7059	Ácido nítrico concentrado	HNO^3.
Idem	Idem	5,9471	Nitrato potásico	KNO^3.
Ácido nítrico concentrado	HNO^3	0,2698	Amoniaco	NH^3.
Nitrato potásico	KNO^3	0,1682	Idem	Idem.
Sulfato bárico	$BaSO^4$	0,3433	Anhidrido sulfúrico	SO^3.
Idem	Idem	0,5837	Sulfato cálcico	$CaSO^4$.
Idem	Idem	0,7476	Sulfato potásico	K^2SO^4.
Idem	Idem	0,6094	Sulfato sódico	Na^2SO^4.
Cal viva	CaO	1,7857	Carbonato cálcico	$CaCO^3$.
Idem	Idem	2,4286	Sulfato cálcico	$CaSO^4$.
Carbonato cálcico	$CaCO^3$	0,5600	Cal viva	CaO.
Idem	Idem	0,4400	Anhidrido carbónico	CO^2.
Sulfato cálcico	$CaSO^4$	0,4118	Cal viva	CaO.
Idem	Idem	0,7353	Carbonato cálcico	$CaCO^3$.
Anhidrido carbónico	CO^2	2,2727	Idem	Idem.
Idem	Idem	1,9091	Carbonato magnésico	$MgCO^3$.
Óxido cúprico	CuO	0,7987	Cobre	Cu.
Idem	Idem	0,2013	Oxígeno	O.
Hierro	Fe	1,2857	Anhidrido ferroso	FeO.

NOMBRES DE LOS CUERPOS QUE SE PESAN.	Fórmulas químicas.	Multiplicadores.	NOMBRES DE LOS CUERPOS BUSCADOS.	Fórmulas químicas.
Hierro	Fe	2,0714	Carbonato ferroso	$FeCO^{3}$.
Idem	Idem	1,4286	Anhidrido férrico	$Fe^{2}O^{3}$.
Anhidrido férrico	$Fe^{2}O^{3}$	0,3000	Oxígeno	O.
Idem	Idem	0,7000	Hierro	Fe.
Idem	Idem	0,9000	Anhidrido ferroso	FeO.
Idem	Idem	1,4500	Carbonato ferroso	$FeCO^{3}$.
Idem	Idem	1,5000	Bisulfuro ferroso	FeS^{2}.
Bisulfuro ferroso	FeS^{2}	0,5333	Azufre	S.
Idem	Idem	1,3333	Anhidrido sulfúrico	SO^{3}.
Idem	Idem	2,2667	Sulfato cálcico	$CaSO^{4}$.
Idem	Idem	0,6667	Anhidrido férrico	$Fe^{2}O^{3}$.
Anhidrido magnésico	MgO	2,1000	Carbonato magnésico	$MgCO^{3}$.
Idem	Idem	1,1000	Anhidrido carbónico	CO^{2}.
Carbonato magnésico	$MgCO^{3}$	0,4762	Anhidrido magnésico	MgO.
Idem	Idem	0,5238	Anhidrido carbónico	CO^{2}.
Pirofosfato magnésico	$Mg^{2}P^{2}O^{7}$	0,3604	Anhidrido magnésico	MgO.
Idem	Idem	0,7568	Carbonato magnésico	$MgCO^{3}$.
Idem	Idem	0,6396	Anhidrido fosfórico	$P^{2}O^{5}$.
Idem	Idem	1,3964	Fosfato cálcico (neutro)	$Ca^{3}P^{2}O^{8}$.
Cloruro de platino y potasio	$2KCl+PtCl^{4}$	0,1927	Anhidrido potásico	$K^{2}O$.
Cloruro de platino y amonio	$2NH^{4}Cl+PtCl^{4}$	0,0761	Amoniaco	NH^{3}.
Sulfato plúmbico	$PbSO^{4}$	0,6832	Plomo	Pb.
Idem	Idem	0,2640	Anhidrido sulfúrico	SO^{3}.
Óxido de zinc	ZnO	0,8030	Zinc	Zn.
Sulfuro de zinc	ZnS	0,8354	Óxido de zinc	ZnO.
Idem	Idem	0,6708	Zinc	Zn.

OBSERVACIÓN. Los multiplicadores se han deducido partiendo de los pesos atómicos consignados en la tabla anterior.

NÚM. 3.

Densidad, peso del litro y coeficiente de dilatación de algunos gases.

NOMBRES DE LOS GASES.	DENSIDAD.	Peso del litro al nivel del mar, en el paralelo de Madrid (40° 24' 30" de latitud), á 0° y á la presión de 0,m76.	Dilatación media por grado, desde 0 á 100°, y á una presión constante.
Aire atmosférico	1,00000	1gr,292196 (1)	0,003670
Hidrógeno	0,06926	0 , 089498	0,003661
Oxígeno	1,10563	1 , 428691	»
Nitrógeno	0,97137	1 , 255201	0,003670
Anhidrido carbónico	1,52901	1 , 975781	0,003710
Óxido de carbono	0,95700	1 , 236632	0,003669
Gas de pantanos (CH^{4})	0,55900	0 , 722338	»
Cloro	2,47000	3 , 191724	»
Ácido clorhídrico	1,24700	1 , 611368	»
Anhidrido sulfuroso	2,23400	2 , 886766	0,003903
Óxido nitroso	1,52500	1 , 970599	0,003719
Cianógeno	1,81800	2 , 349212	0,003877
Vapor de agua	0,62400	0 , 806330	»

(1) El peso del litro de aire al nivel del mar, á 45° de latitud, á la temperatura de 0° y á la presión de 0m,76, es 1gr.,292743. Á la altura h sobre el nivel del mar, á la latitud L, á la presión p y á la temperatura de $t°$, el peso se deduce por la siguiente fórmula:

$$1\text{gr.},292743 \frac{p}{(1+0{,}00367\,t)\;0{,}76}\,(1-0{,}00265 \cos.\,2L)\left(1-\frac{2h}{R}\right).$$

En la expresión anterior, R representa el radio de la tierra, que es igual á 6.366.198 metros.

NÚM. 4.

Densidad á 0° y coeficiente de dilatación de algunos liquidos, tomando por unidad la densidad del agua á 4°.

NOMBRES DE LOS LÍQUIDOS.	DENSIDAD á 0°.	AUMENTO DE VOLUMEN DE 0 Á $t^o = at + bt^2 + ct^3$.		
		a.	*b.*	*c.*
Agua	0,99988	— 0,000061045, de 0° á 25°.	+ 0,0000077183	— 0,00000003734
		— 0,000065415, de 25° á 50°.	+ 0,0000077587	— 0,00000003541
		+ 0,000059160, de 50° á 75°.	+ 0,0000031849	+ 0,00000000728
		+ 0,000086450, de 75° á 100°.	+ 0,0000031892	+ 0,00000000245
Mercurio	13,59593	+ 0,00017901	+ 0,0000000252	
Alcohol	0,79200	+ 0,0010486301	+ 0,0000017510	+ 0,00000000134
Éter	0,71500	+ 0,0015132448	+ 0,0000023592	+ 0,00000004005
Sulfuro de carbono	1,26300	+ 0,0011398038	+ 0,0000013706	+ 0,00000001912
Ácido sulfúrico del comercio	1,84100			
Ácido nítrico idem	1,22000			
Ácido clorhídrico idem	1,20800			

OBSERVACIÓN. Esta tabla está tomada del tratado de *Chimie appliquée*, de Hervé Mangon.

FIN.

RELACIÓN

DE LAS OBRAS QUE SE HAN CONSULTADO.

ANÓNIMO (1).—Apuntes de Construcción.

ANÓNIMO (1).—Conocimiento de los Materiales.—Piedras, ladrillos y cales.

ANÓNIMO.—Diccionario de las voces más usadas en Minería.

ANÓNIMO (1).—Lecciones de Análisis de los Materiales de Construcción.

BAYLE.—Cours de Minéra ogie et de Géologie appliquées aux constructions.

BERTHELOT.—Sur la force de la poudre et des matières explosives.

BOITARD.—Nouveau manuel du cordier.

BOUTRON y BOUDET.—Hydrotrimétrie.

BROGNIART.—Traité des Arts céramiques.

BURGOYNE.—Rudimentary treatise on the blasting and quarrying of stones.

CAMPANO.—Manual del hojalatero.

CARTAVIO.—Guía industrial y comercial de Asturias.

CHAMPION.—La dynamite et la nitroglycérine.

CHÂTEAU.—Technologie du bâtiment.

CHRÉTIEN.—Machines-outils.

CLAIRAC.—Diccionario general de Arquitectura é Ingeniería.

CLAUDEL.—Formules, tables et renseignements pratiques.

CLAUDEL y LAROQUE.—Pratique de l'art de construire.

COIGNET.—Emploi des bétons agglomérés.

(1) Cuadernos autografiados de la Escuela de Ingenieros de Caminos.

COUCHE.—Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer.

DEBAUVE.—Exécution des travaux.

DEMANET.—Cours de Construction.

DELESSE.—Matériaux de Construction de l'Exposition universelle de 1855.

DOBSON.—A rudimentary teatrise on the manufacture of bricks and tiles.

DURAND-CLAYE (D. L.)—Chimie appliquée á l'art de l'Ingénieur.

ECK.—Application générale du fer, de la fonte, de la tôle et des poteries dans les constructions civiles, industrielles et militaires.

ÉMY.—Traité de l'art de la Charpenterie.

ESPINOSA.—Manual de Construcciones de albañilería.

FAIRBAIRN.—The iron.

GERHARDT y CHANCEL.—Précis d'analyse chimique qualitative et quantitative.

GOSCHLER.—Traité pratique des chemins de fer.

HERVÉ MANGON.—Essai et analyse chimique des matériaux employés dans les constructions et de quelques autres produits intéresant l'art de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées.

IBRÁN.—Álbum de Metalurgia general.

JULLIEN y VALÉRIO.—Nouveau manuel complet du Chaudronnier.

KUHLMANN.—Instruction pratique sur l'application des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres.

LABOULAYE.—Dictionnaire des Arts et Manufactures.

LANDRIN.—Manuel complet théorique et pratique du maître des forges.

LANDRIN.—Traité de la fonte et du fer.

LARDNER.—Le fer et l'acier manufacturés.

LAUNAY.—Manuel du fondeur.

LEJEUNE.—Guide du briquetier.

MALEPEYRE.—Nouveau manuel complet du briquetier.

MALO.—Note sur l'asphalte.

MILLINGTON.—Elementos de Arquitectura.

MONASTERIO.—Anuario de Construcción.

MUÑOZ Y SALAZAR.—Tratado de Materiales de Construcción.

NAQUET.—Principes de Chimie.

PELOUZE y FRÉMY.—Traité de Chimie générale.

PÉREZ DE LA SALA.—Tratado de Construcciones en el mar.

PLÁ Y RAVE.—Marcos de maderas.

PLÁ Y RAVE.—Tratado de Maderas de construcción civil y naval.

REBOLLEDO.—Construcción general.

REDTEMBACHER.—Résultats scientifiques et pratiques destinés à la construction des machines.

REGNAULT.—Cours élémentaire de Chimie.

REID.—A pratical treatise on the manufacture of Portland cement.

REYNAUD.—Traité d'Architecture.

RIVOT.—Traité d'analyse des substances minérales.

RODRÍGUEZ ALONSO.—Tratado de Siderurgia.

RODRÍGUEZ DURÁN.—Las dinamitas y sus aplicaciones á la industria y á la guerra.

SAAVEDRA (D. F.)—Tratado de Química y nociones de Historia natural, con aplicación á los reconocimientos de aduanas.

SAINZ.—Compendio de Arboricultura.

SCHEIDNAGEL.—Inflamación de minas militares por la electricidad.

TREUSSART.—Mémoire sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires.

VALDÉS.—Manual del Ingeniero y Arquitecto.

VICAT.—Resumé sur les mortiers et ciments calcaires.

VICAT.—Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues à pouzzolanes.

VIDAL.—Breve descripción de algunas de las maderas más importantes y mejor conocidas de las Islas Filipinas.

WANDERLEY.—Traité pratique de constructions civiles.

ÍNDICE.

Págs.

PRIMERA PARTE.

CONOCIMIENTO Y PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES.

PRIMERA SECCIÓN.

MATERIALES DE ORIGEN PÉTREO.

SEGUNDA SECCIÓN.

MATERIALES DE ORIGEN VEGETAL.

TERCERA SECCIÓN.

MATERIALES METÁLICOS.

Págs.

APÉNDICES Á LA PRIMERA PARTE.

SEGUNDA PARTE.

ANÁLISIS QUÍMICA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Págs.

ERRATAS PRINCIPALES.

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
20	19	al	la
122	penúltima	corresponde	corresponda
129	25	que usan	que se usan
152	15	Marchabée	Machabée
190	2	por	con
253	20	*Fraxinius*	*Fraxinus*
346	20	presentará	presentara
359	35	más delantero	de atrás
386	26	**Mesas durmientes.**	MESAS DURMIENTES.
387	22	**Mesas de percusión.**	MESAS DE PERCUSIÓN.
388	18	**Mesas cónicas.**	MESAS CÓNICAS.
459	34	*c*	*a*
610	3	las puntas	la punta
656	29	les	los